

Ю. Владимиров

МЕТАФИЗИКА



ИЗДАТЕЛЬСТВО
Бином

Метафизика — попытка охватить мир как целое
посредством мышления.

Б. Рассел

Метафизика — исследование общих черт структуры
мира и наших методов проникновения в эту структуру.

М. Борн

Префикс «мета» призван, собственно говоря, означать
лишь то, что речь идет о вопросах, которые идут
«потом», т. е. о вопросах относительно оснований
соответствующей области; почему же никак нельзя
исследовать то, что, так сказать, идет за физикой?

В. Гейзенберг

Строго говоря, нет науки, которая не имела бы своей
метафизики, если под этим понимать всеобщие
принципы, на которых строится определенное учение
и которые являются зародышами всех истин,
содержащихся в этом учении и излагаемых в ней.

Д'Аламбер

ISBN 978-5-94774-989-2



Ю. Владимиров

МЕТАФИЗИКА

**2-е издание,
переработанное и дополненное**



**Москва
БИНОМ. Лаборатория знаний
2009**

УДК 530.1
ББК 22.31
В57

Владимиров Ю. С.

В57 Метафизика / Ю. С. Владимиров. — 2-е изд., перераб.
и доп. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. — 568 с. :
16 с. ил. : ил.

ISBN 978-5-94774-989-2

Книга посвящена метафизическим основаниям современной теоретической физики и раскрытию ведущих тенденций ее развития в ХХI веке.

Данное (второе) издание книги существенно переработано и дополнено. В 1-й части охарактеризовано состояние физики начала XX века. Во 2-й части описаны теории и программы в рамках общепринятого теоретико-полевого миропонимания. 3-я часть посвящена геометрическому миропониманию, развивающемуся на основе идей общей теории относительности и многомерных теорий Калуцы–Клейна. В 4-й части проанализированы основания и возможности реляционного подхода, опирающегося на концепцию дальнодействия. В 5-й части изложены принципы бинарной геометрофизики, объединяющей идеи предшествующих физических программ. Наконец в заключительной, 6-й части книги рассмотрены проблемы соотношения науки (физики), философии и религии на основе метафизических принципов, выявленных в ходе анализа развития физики.

Данное издание принесет несомненную пользу студентам и преподавателям вузов. Оно адресовано также физикам, инженерам, философам и всем, кто интересуется физической картиной мира и тенденциями развития теоретической физики.

УДК 530.1
ББК 22.31

Научное издание

Владимиров Юрий Сергеевич

МЕТАФИЗИКА

Ведущий редактор И. А. Маховая. Редактор Т. Е. Владимирова
Художественный редактор И. А. Новак

Корректор Е. Н. Клитина

Оригинал-макет подготовлен О. Г. Лапко в пакете L^AT_EX 2 ϵ
с использованием кириллических шрифтов семейства LH

Подписано в печать 16.12.08. Формат 70×100/16.

Усл. печ. л. 47,45. Тираж 1000 экз. Заказ 8584

Издательство «БИНОМ. Лаборатория знаний»

125167, Москва, проезд Аэропорта, д. 3

Телефон: (499) 157-5272, e-mail: binom@Lbz.ru, <http://www.Lbz.ru>

При участии ООО «ЭМПРЕЗА»

Отпечатано с готовых файлов заказчика в ОАО «ИПК
«Ульяновский Дом печати». 432980, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14

ISBN 978-5-94774-989-2

© Владимиров Ю. С., 2009
© БИНОМ. Лаборатория знаний,
2009

Оглавление

Предисловие к первому изданию	9
Предисловие ко второму изданию	13
Введение	17
Глава 1. Метафизика с древнейших времен до XVIII в.	25
1.1. Метафизика древнего мира	25
1.1.1. «Книга перемен»	26
1.1.2. Древние космогонические представления народов мира	30
1.1.3. Гипотезы и размышления	32
1.2. Метафизика в учениях античности	35
1.2.1. Школа Пифагора	36
1.2.2. Школа Платона	38
1.2.3. Учения материалистов: от Фалеса до Демокрита	40
1.2.4. Метафизика в учении Аристотеля	43
1.2.5. Характерные черты физики Аристотеля	45
1.3. Преодоление «здравого смысла» античности	47
1.4. Метафизические парадигмы XVII в.	52
1.4.1. Природа как протяженная субстанция (по Декарту) ..	52
1.4.2. Метафизика Лейбница	54
1.4.3. Натурфилософия Гюйгенса	57
1.4.4. «Математические начала натуральной философии» ..	58
1.5. Метафизика XVIII в.	61
1.5.1. Учение Болковича	61
1.5.2. Метафизика и развитие физики	62
1.5.3. Природа и категории в натурфилософии И. Канта ..	64
1.6. Уроки метафизики и натурфилософии прошлого	66
Часть I. Классические представления о мире	69
Глава 2. Пространство-время	71
2.1. От пространства и времени к пространству-времени	71
2.2. Пространство-время Минковского	74
2.3. Системы отсчета (1 + 3-расщепление)	78
2.4. Природа пространства-времени	81
2.5. Аксиоматика геометрии	83
2.6. Геометрии с измененной аксиоматикой	87
2.7. Архитектура математики	91

Глава 3. Поля переносчиков взаимодействий	94
3.1. Концепция близкодействия	94
3.2. «Мистика мирового эфира»	96
3.3. Классические поля	100
3.3.1. Электромагнитное поле	100
3.3.2. Гравитационное поле	102
3.4. Категория полей переносчиков взаимодействий в микромире	106
3.4.1. Фундаментальные физические взаимодействия	106
3.4.2. Принципы метафизики в свойствах полей переносчиков взаимодействий	109
3.4.3. Недостатки теории поля в триалистической парадигме	112
Глава 4. Категория частиц и принцип фрактальности	114
4.1. Метафизическое содержание второго закона Ньютона	114
4.1.1. Второй закон Ньютона	115
4.1.2. Понятия силы и массы	116
4.1.3. От закона Ньютона к «золотой пропорции»	118
4.2. Метафизические аспекты аналитической механики	121
4.2.1. Принцип наименьшего (экстремального) действия	121
4.2.2. Описание взаимодействий	124
4.2.3. Канонические уравнения Гамильтона	127
4.3. Принцип фрактальности в триалистической парадигме	129
4.3.1. Фрактальность по сущности	129
4.3.2. Фрактальность по качеству	131
4.3.3. Фрактальность по количеству	133
4.4. Категория частиц в микромире	134
4.4.1. Концепция атомизма	134
4.4.2. Неоклассические интерпретации квантовой механики	138
4.4.3. Есть ли предел делимости?	139
4.4.4. Физические константы и соотношение теорий	142
Часть II. Теоретико-полевое миропонимание	145
Глава 5. Квантовая теория	147
5.1. Становление квантовой механики	148
5.2. Полевое описание новой категории	150
5.2.1. Уравнения Клейна—Фока и Шредингера	151
5.2.2. Уравнения Дирака	153
5.3. Категория поля амплитуды вероятности	156
5.3.1. Непривычные черты категории поля амплитуды вероятности	156
5.3.2. Интерпретации квантовой механики и метафизика	159
5.4. Формальные основания квантовой механики	164
5.4.1. Аксиоматика квантовой механики	164
5.4.2. Представления и динамические переменные	168
5.4.3. Макроприбор и принцип суперпозиции	172
5.5. Метафизический анализ теоретико-полевого миропонимания	174
Глава 6. Калибровочная теория физических взаимодействий	178
6.1. Симметрии и калибровочный подход к описанию взаимодействий	179

6.2. Электромагнитное взаимодействие	180
6.2.1. Формальное введение электромагнитного взаимодействия	180
6.2.2. Калибровочное описание электромагнетизма	182
6.3. Калибровочная теория электрослабых взаимодействий	184
6.3.1. Бозонные поля в модели электрослабых взаимодействий	184
6.3.2. Электрослабые взаимодействия лептонов	187
6.3.3. Электрослабые взаимодействия夸арков	190
6.3.4. Асимметрия левого и правого	192
6.4. Калибровочная теория сильных взаимодействий	194
6.4.1. Глюонные поля в хромодинамике	195
6.4.2. Кварки в сильных взаимодействиях	196
6.5. Калибровочный подход к описанию гравитации	198
6.6. Метафизические аспекты описания взаимодействий	199
6.6.1. Вторичное квантование и виды движения по Аристотелю	199
6.6.2. Метафизический анализ описания взаимодействий	202
Глава 7. От квантовой механики к теории суперструн	206
7.1. Нелинейные теории поля	207
7.1.1. Гипотеза единой нелинейной бозонной теории поля	207
7.1.2. Гипотеза единой нелинейной спинорной теории поля	209
7.1.3. Пространство-время в искомой единой теории поля	210
7.2. Гипотеза объединения полей на основе суперсимметрии	212
7.2.1. Суперсимметрия и суперполе	212
7.2.2. Метафизический анализ теорий с суперсимметрией	215
7.3. Гипотеза суперструнных оснований физики	216
7.3.1. Теория суперструн	217
7.3.2. Физический анализ программы суперструн	220
7.3.3. Метафизический анализ программы суперструн	226
7.3.4. Категория пространства-времени в теории струн	229
Часть III. Геометрическое миропонимание	232
Глава 8. От Евклида до Эйнштейна	234
8.1. Пятый постулат Евклида	235
8.2. Неевклидова геометрия Лобачевского	238
8.3. Неевклидова геометрия Римана	241
8.4. Идея Клиффорда о всеобщей геометризации физики	244
8.5. Эрнст Мах и геометрия	246
8.6. Конвенционализм А. Пуанкаре	251
8.7. Принцип эквивалентности и геометрия	253
Глава 9. Идеи и выводы общей теории относительности	256
9.1. Сущность общей теории относительности	256
9.2. Ключевые понятия общей теории относительности	258
9.3. Системы отсчета в теории гравитации	263
9.4. Пространство-время вблизи центрального источника	266
9.5. Вселенная в целом. Космология	270
9.6. Гравитационные волны	274
9.7. Обобщения римановой геометрии	277

9.8. Некоторые выводы и замечания	281
9.8.1. Выводы из исследований общей теории относительности	281
9.8.2. Замечания метафизического характера	283
Глава 10. Многомерность физического мира.	286
10.1. Становление идеи о многомерности пространства	287
10.2. Суть 5-мерной теории Калуцы и ее «чудеса»	290
10.3. Необычность дополнительных координат, или почему классическое пространство-время четырехмерно?	293
10.4. Обобщенная «система отсчета» (метод 1+4-расщепления)	295
10.5. Развитие 5-мерной теории	298
10.6. Анализ критических замечаний по теории Калуцы	303
10.7. Многомерные модели с размерностью, большей пяти	308
10.7.1. Возрождение концепции многомерия	308
10.7.2. 7-Мерная геометрическая модель грави-электрослабых взаимодействий	310
10.7.3. 8-Мерная модель грави-сильных и электрослабых взаимодействий	315
10.8. Выводы и метафизический анализ многомерных геометрических моделей	319
10.8.1. Основные выводы из исследований многомерия	319
10.8.2. Метафизический анализ дуалистического геометрического миропонимания	321
Глава 11. Единая геометрия мира: проблемы и гипотезы	327
11.1. Экстремальная геометрическая парадигма	328
11.2. Геометродинамика Уилера	330
11.3. Фридманы Маркова	333
11.4. Имитация массивной материи геометрическими факторами ..	336
11.5. Проблема квантования в геометрическом миропонимании ..	338
11.6. Супергравитация и гравитация в теории струн	341
11.6.1. Теория супергравитации	342
11.6.2. Гравитация в теории суперструн	344
11.7. Недостатки программы всеобщей геометризации	347
Часть IV. Реляционное миропонимание	351
Глава 12. Реляционная концепция пространства-времени	353
12.1. Истоки реляционной концепции пространства-времени	353
12.2. Переформулировка геометрии через расстояния	356
12.3. Теория пространственно-временных отношений	358
12.4. Временные отношения	362
12.5. Хроногеометрия	363
12.6. Теория унарных физических структур	366
12.7. Выводы и замечания по реляционной концепции пространства-времени	370
Глава 13. Концепция дальнодействия	374
13.1. Истоки концепции дальнодействия	375
13.2. Альтернатива: близкодействие или дальнодействие	379
13.3. Принцип Фоккера в электродинамике	383

13.4. Фейнмановская теория поглотителя	387
13.5. Принцип Маха и концепция дальнодействия	391
13.6. Прямое межчастичное гравитационное взаимодействие	393
13.7. Объединение гравитации и электромагнетизма.	395
13.7.1. Электромагнетизм	395
13.7.2. Гравитация как следствие электромагнетизма	397
13.7.3. Принцип Маха и прямые многочастичные взаимодействия	399
13.8. Анализ и сравнение реляционного и иных миропониманий	401
13.8.1. Три вида соотношений гравитации и электромагнетизма	401
13.8.2. Метафизический анализ реляционной парадигмы	404
13.8.3. Выводы из сравнения дуалистических метафизических парадигм	406
Глава 14. Дальнодействие и квантовая механика	410
14.1. Обоснование принципа Гюйгенса в отсутствие полей	411
14.2. Фейнмановская формулировка квантовой механики	413
14.2.1. Истоки фейнмановской формулировки квантовой механики	413
14.2.2. Фейнмановская формулировка квантовой механики	415
14.2.3. Развитие фейнмановского метода квантования	418
14.2.4. Пределы возможностей фейнмановского метода квантования	420
14.3. Метод S-матрицы в квантовой теории	423
14.3.1. Суть метода S-матрицы	423
14.3.2. S-матрица и классическое пространство-время	425
14.4. Бинарные системы отношений	427
14.4.1. Принципы бинарной геометрии	428
14.4.2. Виды возможных бинарных систем отношений	430
14.4.3. Следствия открытия бинарных геометрий	431
14.5. Выводы и замечания	433
Часть V. На пути к единой теории физического мироздания	435
Глава 15. Предгеометрия	437
15.1. Структура бинарной геометрофизики как предгеометрии	438
15.2. Иллюзии, от которых следует отказаться	440
15.3. Исходные понятия математического аппарата бинарной геометрофизики	443
15.4. Истоки 4-мерности и сигнатуры классического пространства-времени	448
15.5. Элементарные частицы	452
15.6. Бинарный объем как прообраз физического действия	456
15.7. Истоки категории полей промежуточных бозонов	460
15.8. Метафизический анализ предгеометрии	463
15.8.1. Монистический характер бинарной геометрофизики	463
15.8.2. Истоки трех физических категорий	465
Глава 16. От предгеометрии к классической геометрии и физике	469
16.1. Макроскопическая природа пространства-времени	470

16.2. Элементарные факторы, подлежащие суммированию	473
16.2.1. Природа элементарных носителей пространственно-временных отношений	474
16.2.2. Факторы суммирования: фазы как элементы БСКО ранга (2,2)	477
16.3. От фазовых вкладов к классической геометрии	479
16.3.1. Уилер о роли фаз в геометрии	479
16.3.2. Процедура декомпактификации фазовых вкладов	481
16.3.3. Описание эволюции через БСКО ранга (2,2)	482
16.4. Реляционная интерпретация квантовой механики	487
16.4.1. Суть реляционной интерпретации	487
16.4.2. Реляционное обоснование ряда понятий квантовой механики	490
16.5. Взгляд на дуалистические парадигмы со стороны монистической	492
16.5.1. Ключевой характер реляционного подхода	493
16.5.2. Осмысление понятий теоретико-полевого подхода	494
16.5.3. От бинарной геометрофизики к многомерным геометрическим моделям	496
16.6. От сути пространства в физике к проблемам теории множеств в математике	497
Часть VI. Физика, философия, религия	503
Глава 17. Фундаментальная теоретическая физика и философия	504
17.1. Физики и философы	504
17.2. Три начала и три вида философско-религиозных мировоззрений	507
17.3. Соответствие физических категорий и философско-религиозных начал	510
17.4. Теоретико-полевое миропонимание и религиозное мировоззрение	514
17.5. Геометрическое миропонимание и идеалистическое мировоззрение	518
17.6. Реляционное миропонимание и материалистическое мировоззрение	520
17.7. Философия единства	525
Глава 18. Метафизика и религия	528
18.1. Естествоиспытатели и физики-теоретики о соотношении науки и религии	529
18.2. Первоначало в естествознании и Бог в религии	534
18.3. Творение мира в религии и в физике	538
18.4. Триединство, христианская Троица и бинарная геометрофизика	541
18.5. Динамический характер триединого Первоначала	544
18.6. Филиокве и стрела времени	546
18.7. На пути к единому храму науки и веры	548
Заключение	550
Литература	555

Предисловие к первому изданию

Современному читателю непросто ответить на вопрос, что такое метафизика. Одна эпоха сменяла другую и вносила свои корректизы не только в само понятие, но и в отношение к нему. Мыслители античности и естествоиспытатели средневековья рассматривали метафизику как систему представлений об основах бытия, о первичных понятиях и закономерностях мироздания, которые трактовались в рамках принятых философско-религиозных учений. Последним придавалось первостепенное значение по сравнению с естественнонаучными дисциплинами. Именно в таком ключе была написана «Метафизика» Аристотеля.

До наших дней дошло утверждение И. Ньютона: «Физика, бойся метафизики!» И тем не менее великого ученого считают не только физиком, но и метафизиком. Многие произведения Г. Лейбница, И. Канта и других известных естествоиспытателей и философов называют метафизическими, хотя в этот термин как Ньютон, так и другие мыслители вкладывали разный смысл. Так, Д'Аламбер, критикуя философские системы от Аристотеля до Лейбница, заявлял: «На место всей туманной метафизики мы должны поставить метафизику, применение которой имеет место в естественных науках, и прежде всего, в геометрии и в различных областях математики. Ибо, строго говоря, нет науки, которая не имела бы своей метафизики, если под этим понимать всеобщие принципы, на которых строится определенное учение и которые являются зародышами всех истин, содержащихся в этом учении и излагаемых в нем» [39, с. 368].

Известно, что Юм скептически относился к возможностям разума осмысливать понятия силы и действия, а отсюда и ко всей метафизике как «разрушительной философии». Тем не менее он писал: «Метафизика и мораль — суть важнейшие отрасли науки; математика и естествоведение не имеют и половины такого значения» [78, с. 8].

Иммануил Кант называл метафизику «чистым философским познанием» и утверждал, что «принципы метафизики (куда принадлежат не только ее основные положения, но и основные понятия) никогда

не должны браться из опыта, ибо она должна быть познанием не физическим, а метафизическим, т. е. лежащим за пределами опыта. Итак, в ее основание не ляжет ни внешний опыт, служащий источником собственно физики, ни внутренний, на котором основывается эмпирическая психология. Метафизика есть, таким образом, познание *a priori*, или из чистого рассудка и чистого разума» [78, с. 18]. Полагая, что настоящей метафизики еще не создано, он писал: «Но так как, тем не менее, запрос на нее никогда не может исчезнуть, потому что интерес общего человеческого разума слишком тесно с нею связан, то нужно будет признать, что неизбежно предстоит, как этому ни сопротивляйся, полная реформа или, лучше сказать, новое рождение метафизики по совершенно неизвестному до сих пор плану» [78, с. 6]. В «Пролегоменах» Кантом была сделана попытка сформулировать общие принципы будущей метафизики.

В XX в. один из создателей (копенгагенской) интерпретации квантовой механики Макс Борн в лекции, посвященной юбилею Джоуля (в статье «Физика и метафизика»), сказал: «Позвольте процитировать вам определения метафизики, взятые у двух современных философов. Согласно Вильяму Джемсу, «метафизика — это необычайно упорное стремление мыслить ясным образом». Берtrand Рассел пишет: «Метафизика, или попытка охватить мир как целое посредством мышления». Эти формулировки подчеркивают две главные стороны метафизики: одна — метод (обязательная ясность мышления), другая — предмет изучения (мир как целое)... Я предлагаю употребить слово «метафизика» в более скромном значении — как в отношении метода, так и предмета, — а именно как “исследование общих черт структуры мира и наших методов проникновения в эту структуру,”» [12, с. 190]. После обсуждения достижений фундаментальной физики и их влияния на мировоззрение человечества М. Борн закончил лекцию одним замечанием по поводу определения метафизики, данного Расселом: «Метафизика — попытка постичь мир как целое с помощью мысли. Имеет ли какое-нибудь значение для решения этой проблемы гносеологический урок, преподанный физикой? Я думаю, что да, ибо он показывает, что даже в ограниченных областях описание всей системы в единственной картине невозможно. Существуют дополнительные образы, которые одновременно не могут применяться, но которые, тем не менее, друг другу не противоречат и которые только совместно исчерпывают целое. Это весьма плодотворное учение, и при правильном применении оно может сделать излишним многие острые споры не только в философии, но и во всех областях жизни» [12, с. 208].

В данной книге речь идет об основаниях бытия с позиций не философа а физика, и рассматриваются вопросы, которые в прямом смысле лежат «за физикой», «над физикой» или «после физики». Находясь

на границе собственно теоретической физики, математики и философии (даже религии), данная область знания занимается философским осмысливанием физики, достигшим к концу XX в. высот, вплотную приблизивших ее к тому, что естественно назвать старым термином «метафизика». «Некоторые авторы, — отмечает С. К. Клини в книге «Введение в метаматематику», — пользуются приставкой «мета» для обозначения языка или теории, в которой другой язык или теория делаются предметом изучения не ограниченного финитными методами» [83, с. 62].

Предложенное здесь естественнонаучное осмысливание мира является результатом сопоставления нескольких миропониманий, отражающих различные точки зрения, опирающиеся на разные комбинации взаимно дополняющих друг друга категорий.

Современное состояние физической науки можно сравнить с ситуацией, сложившейся в начале XX в., когда были созданы теория относительности и квантовая механика. Напомним, эти открытия были основаны на синтезе более простых категорий в новые «обобщенные»: на объединении пространства и времени в 4-мерное пространство-время, на едином описании волны и частицы в рамках волновой механики, на переходе от гравитационного поля в плоском пространстве-времени к искривленному пространству-времени общей теории относительности. Несомненно, эта тенденция будет развиваться вплоть до построения теории единой физической сущности, лежащей в основании мира. В данной книге сделана попытка проанализировать этот процесс и наметить новый подход к решению данной проблемы.

В фундаментальной теоретической физике XX в. ключевой характер приобрели те же концептуальные вопросы и проблемы, которые на протяжении двух с половиной тысячелетий были в поле зрения философии (и богословия). Исследуя широкую область природы, охватывающую закономерности различных масштабов — от свойств Вселенной в целом до самых элементарных кирпичиков мироздания в микромире, — физика вскрыла чрезвычайно важные принципы, некоторые из которых сквозным образом пронизывают все сферы бытия от элементарных частиц до духовной жизни человека.

Физика имеет дело с более простыми системами, которые поддаются строгому математическому описанию, позволяющему отделить менее существенные факторы от ключевых, поэтому в рамках фундаментальной теоретической физики можно разглядеть и сформулировать общие принципы метафизики, имеющие универсальное значение.

В книге подобного рода вряд ли возможно обойтись без формул. В тексте содержится такое минимальное их количество, чтобы достаточно подготовленный читатель имел возможность убедиться в обоснованности сделанных утверждений и выводов. Однако автор стремился к тому, чтобы книга была доступной и неспециалистам в области теоре-

тической физики. Последние при чтении могут опускать трудные места с формулами без ущерба для понимания основного содержания книги.

Приступая к изложению материала, автору хотелось бы присоединиться к словам Эрнста Маха из предисловия его книги «Познание и заблуждение»: «Работая в течение более сорока лет в лаборатории и на кафедре как наивный наблюдатель, не увлеченный и не ослепленный никакой определенной философской системой, я имел возможность разглядеть пути, по которым развивается наше познание. Я сделал попытку описать эти пути в различных сочинениях. Но и то, что мне удалось изучить, не есть исключительно мое достояние. Другие внимательные исследователи наблюдали часто то же самое или весьма сходное... Я надеюсь, что мой труд не пропадет даром. Может быть, даже философы усмотрят когда-нибудь в моем предприятии философское очищение естественнонаучной методологии и со своей стороны придут мне навстречу. Если же этого не случится, я все же надеюсь, что принесу пользу естествоиспытателям» [105, с. 33].

Автор выражает признательность коллегам, ученикам и участникам семинаров «Геометрия и физика» и «Фундаментальная физика и духовная культура» (физический факультет МГУ), принимавшим участие в обсуждении вопросов, которым посвящена эта книга.

Предисловие ко второму изданию



В процессе работы над книгой неоднократно высказывались пожелания назвать ее иначе, например «Методология естествознания» или «Онтология физики», поскольку термин «метафизика» воспринимается многими как одиозный. Подобные рекомендации еще более убеждали автора в необходимости восстановить в своих правах и сам термин, незаслуженно исключенный из отечественного дискурса, и стоящую за ним проблематику, которая охватывает один из важнейших разделов мировой культуры.

Книга оказалась своевременной, вызвав заслуженный интерес к рассматриваемым в ней вопросам. А обращение к принципам метафизики все более становится одной из характерных черт научной жизни. Достаточно назвать «Университетские лекции по метафизике» [73] А. В. Иванова и В. В. Миронова, книги В. Д. Захарова [66, 67], два выпуска альманаха «Метафизика. Век XXI» (М.: Изд-во БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006 г., 2007 г.) и некоторые другие издания. Содержательный обзор истории развития метафизики дан в работе А. П. Огурцова [117].

О понимании метафизики как ключевой части философии писал В. В. Миронов, определяя метафизику как «предельный вид философского знания, связанный с наиболее абстрактной и глубокой формой рефлексии (размышления) человека над проблемами личного и мирового бытия. (...) Термин «метафизика» отличается от понятия философии. Это как бы ее теоретическая часть или сердцевина — учение о первоосновах сущего. Не случайно ее иногда называют теоретической философией, противополагая ее практическим разделам. (...) О составе философской метафизики, а следовательно, и о структуре теоретической философии до сих пор ведутся споры. Наиболее распространенной точкой зрения является трактовка метафизики как состоящей из трех тесно друг с другом связанных частей (уровней): онтологии (учения о бытии), гносеологии (учения о познании) и аксиологии (всеобщей теории ценностей)» [110, с. 35–36].

В работах А. В. Иванова метафизика трактуется «как сердце философии»: «Метафизика (или «первая», или «теоретическая», или «систематическая» философия) всегда являлась, является и будет являться неустранимым сердцем, центральной составляющей философского знания, ибо никакая любовь к мудрости, никакое цельное мировоззрение, никакая последовательная рефлексия невозможны без обращения к вечным — собственно метафизическим — проблемам бытия с никогда не могущими завершиться попытками их всеобъемлющего систематического решения» [74, с. 45].

Развивая свое понимание метафизики, А. В. Иванов пишет: «Если физик выходит на проблемы эволюции Вселенной и ее первоструктур, то он неизбежно превращается не просто в философа, а именно в метафизика и сталкивается с необходимостью осваивать соответствующее философское теоретическое наследие. Если биолог или психолог задаются вопросами об истоках жизни и психической активности, а верующий христианин начинает приводить рациональные доказательства Божественного присутствия в мире, то все они вынуждены переходить на исконный метафизический язык философии — язык предельных смысловых конструктов, называющихся философскими категориями и обладающими рядом абсолютно уникальных свойств. (...) Словом, во всех вышеупомянутых примерах всплывает необходимость обращения к метафизическому ядру философии, без которого не обрести прочных оснований знания, критически продуманных и укорененных в традиции идеалов, целей личного и общественного бытия. Недаром Кант справедливо называл метафизику “завершением всей культуры человеческого разума» [74, с. 44].

Примечательно, что на конференциях «Христианство и наука» в рамках ежегодных Международных Рождественских образовательных чтений, проводимых Патриархией Русской Православной Церкви, в центре внимание также находятся метафизические принципы, лежащие в основании как богословия, так и различных научных дисциплин. По результатам этих конференций издано 7 сборников трудов отечественных ученых и представителей Церкви.

Известен интерес к метафизическим проблемам со стороны Ватикана, под эгидой которого летом 2006 г. состоялся третий Всемирный конгресс по метафизике, объединивший несколько сот участников из разных стран мира. Как пишут присутствовавшие на нем российские философы, «западная религиозная метафизика уходит от традиционной, исключительно онтологической проблематики, с которой она была связана на протяжении многих веков, и расширяет сферу своих принципов за счет вовлечения других областей философии и культуры в целом. Современные католические метафизики делают вывод о том, что метафизика служит мостом между религией и культурой. Культура

это весь ареал духовной деятельности человека, религия — это чисто ценностная ориентация, а метафизика — это теоретическое обоснование связи проблематики религиозной и светской» [161, с. 143].

После выхода в свет первого издания «Метафизики» были написаны две монографии: «Геометрофизика» [34] и «Основания физики» [36], в которых подробно рассматривались геометрическое и реляционное миропонимания, альтернативные доминирующему теоретико-полевому подходу. Накопленный в процессе написания этих книг материал позволил существенно переработать «Метафизику» при подготовке настоящего издания.

В настоящем издании первая часть посвящена метафизическому анализу классических представлений о физическом мироздании, опирающихся на три ключевые категории: готового пространства-времени, распространяющихся по нему полей переносчиков взаимодействий и помещенных в пространство-время частиц (тел). Во второй части обсуждаются принципиальные моменты доминирующих ныне теоретико-полевых (квантовомеханических) представлений о структуре материи. В третьей части рассмотрены ключевые положения геометрического миропонимания, нацеленного на представление всей физики в терминах свойств обобщенного пространства-времени. К нему относятся, в частности, общая теория относительности и многомерные геометрические модели физических взаимодействий типа теорий Калуцы и Клейна. В четвертой части анализируются возможности менее известного реляционного миропонимания, основанного на концепции дальнодействия. Названные четыре миропонимания представляют собой видения одной и той же физической реальности под разными углами зрения, диктующими разные постановки задач, свои специфические приоритеты и использование разных математических методов.

В пятой части предлагается понимание сущности и структуры единой теории физического мироздания, объединяющей в себе идеи и достижения проанализированных миропониманий. Наконец, в заключительной, шестой части рассматривается соотношение физики, философии и религии с позиций метафизических принципов, выявленных при анализе развития фундаментальной теоретической физики. Каждая из частей книги имеет самостоятельный характер, что дает читателю возможность знакомиться с ними в значительной степени независимо, исходя из собственных интересов и предпочтений.

В целях облегчения восприятия в книге сокращен ряд формул, с которыми желающие могут познакомиться с помощью ссылок на соответствующие места из названных книг. Кроме того, в текст внесен ряд изменений, исправлений и добавлений. Так, в частности, изменено название физического миропонимания на теоретико-полевое, поскольку, как отмечал ряд коллег, все три миропонимания, включая геометриче-

ское и реляционное, описывают физическую картину мира и, следовательно, являются физическими.

Подводя итог, позволим себе еще раз подчеркнуть, что возвращение метафизики не случайно. «Когда народ, страна, — говорил Г. П. Щедровицкий, — упускают из вида значимость онтологической работы и в силу тех или иных обстоятельств своего исторического развития перестают ею заниматься, как это было у нас в годы застоя и предшествовавшие им, то страна и народ с железной необходимостью скатываются в разряд последних стран и народов, поскольку они лишены возможности проводить мыслительную работу. Онтологии, или метафизики в смысле Аристотеля, являются основанием всей и всякой мыслительной работы. Они дают возможность проектировать, программировать, планировать. И обратно: если такой работы нет, то проектировать, программировать, планировать ничего нельзя, поскольку для этого нет условий и оснований. (...) По сравнению с отсутствием онтологической работы все остальное — мелочи. Если нет онтологической работы, то современного мышления, современной жизни, современной нации быть не может. В этом смысле то, что произошло у нас, есть классический случай, ибо мы можем наблюдать классический случай разрухи научной работы из-за отсутствия работы онтологической. И это есть поучительный опыт в масштабах истории развития *общечеловеческой*, подчеркиваю, культуры» [199, с. 536].

В заключение хотелось бы выразить искреннюю признательность коллегам, сделавшим замечания и высказавшим пожелания, которые автор стремился учесть при подготовке второго издания.

Введение

В физике принято различать: 1) прикладную часть, где во главу угла ставится *физический эксперимент* (в теоретической физике — это соответствие теоретических построений опыту), 2) *математический аппарат* (логическую, рациональную составляющую теории) и 3) *физическую интерпретацию* (*философское осмысление*). Часто ведутся споры о том, какая из этих трех сторон физики важнее.

На протяжении большей части XX в. полагалось, что безусловным приоритетом в науке пользуется *практика, эксперимент*, и назначение науки виделось в решении главным образом прикладных задач. Поэтому подавляющая часть ассигнований на физику выделялась в связи с потребностями военно-промышленного комплекса. Многие и сегодня продолжают утверждать, что физика — наука прежде всего экспериментальная.

Со времен античности бытует мнение, что научность той или иной области знания определяется степенью использованной в ней *математики*. Современная физика без математики немыслима, причем к концу XX в. в теоретической физике использовались буквально все разделы современной математики. Иногда бывает трудно различить, где кончается математика и начинается физика. Порой увлечение физиков-теоретиков чистой математикой принимало крайние формы. Так, в 60–70-х гг. XX в. чрезвычайно популярными были исследования по аксиоматике квантовой теории. Полагалось, что все беды с расходимостями (с появлением бесконечно больших величин в физике) кроются в недопонимании свойств сингулярных функций, в нерешенности некоторых математических проблем аналитических функций и т. д. В итоге значительная часть видных физиков-теоретиков навсегда ушла из физики в математику.

Другой пример: исследования конца XX в. в области классической общей теории относительности в значительной степени превратились в работы по математической физике, направленные на поиск новых решений системы из нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка, каковыми являются уравнения Эйнштейна. За почти 90 лет

существования общей теории относительности заложенные в ее основу физические принципы оказались практически выработанными.

Еще одним примером могут служить столь модные ныне исследования по теории суперструн и супербран, где физики-теоретики забрались в такие математические дебри, из которых трудно усмотреть выход к реальной физике.

Согласно третьей точке зрения, движущей стороной теории являются физические идеи и адекватная *физическая и философская интерпретация*. В этой связи часто называются работы М. Фарадея, Э. Маха, Г. А. Гамова и других, в которых акцент делался на физическую суть проблемы. Как правило, названные физики обходились довольно простыми математическими средствами, но тем не менее достигали первоклассных результатов.

В центре внимания предлагаемой книги находится третья составляющая физики — физическая интерпретация и философское осмысление достигнутых результатов, — которая принадлежит сфере *фундаментальной теоретической физики*, изучающей ключевые понятия, принципы, концепции и законы, лежащие в основании физической картины мира. При этом к концу ХХ в. ряд ее понятий, принципов и концепций приобрел ярко выраженный метафизический характер.

В фундаментальной теоретической физике ХХ в. центральное место занимало рассмотрение природы и свойств трех физических (метафизических) категорий, лежащих в основании всех развивающихся теорий и программ: (**П-В**) *пространства-времени*, (**Ч**) *частиц* (на квантовом уровне — фермионов) и (**П**) *полей переносчиков взаимодействий* (бозонов: фотонов, Z -бозонов, глюонов и т. д.).

Можно сказать, что в общепринятой физике изучаются тела (частицы), которые находятся не иначе как в пространстве-времени и взаимодействуют друг с другом через поля: гравитационное, электромагнитное и иные. В учебниках и большинстве книг по физике эти категории в значительной степени имеют самостоятельный характер. Допускается изучение свойств пространства-времени без материи, можно также рассматривать свободные электромагнитное и другие поля (без частиц-источников). Отнесем все теории с таким пониманием категорий к *триалистической физической (метафизической) парадигме*. Под парадигмой будем понимать систему понятий, категорий и принципов, определяющих основания и характер теории¹⁾.

¹⁾Согласно принятому определению, «парадигма (греч. *paradeigma* — пример, образец) (филос., социол.): 1) строго научная теория, вошедшая в системе понятий, выражаящих существенные черты действительности; 2) исходная концептуальная схема, модель постановки проблемы и их решения, методов исследования, господствующих в течение определенного исторического периода в научном сообществе» [211].

В ХХ в. развивалось несколько принципиально различных физических теорий и программ, тесно связанных с пониманием природы трех названных физических категорий. Теорию относительности (специальную и общую) и квантовую теорию часто называют двумя столпами теоретической физики ХХ в. Они построены на существенно различных основаниях.

В квантовой теории нет частиц в классическом их понимании, нет также полей переносчиков взаимодействий как непрерывно распределенной в пространстве-времени субстанции. Вместо них используется новая *обобщенная категория поля амплитуды вероятности*, определяющая возможность обнаружения квантов поля в соответствующих местах пространства-времени. Последнее же сохраняет статус независимой физической категории, как в триалистической парадигме.

В общей теории относительности отсутствует отдельная категория плоского пространства-времени и нет отдельного гравитационного поля — вместо них вводится новая *обобщенная категория искривленного (риemannова) пространства-времени*. Гравитационное взаимодействие описывается геометрическими характеристиками искривленного пространства (метрикой, кривизной). Прочая материя, в частности частицы, вносится в пространство-время извне и учитывается в виде правой части уравнений Эйнштейна. В многомерных геометрических моделях типа теорий Т. Калуцы и О. Клейна наряду с гравитационным полем геометризуются поля переносчиков других взаимодействий: электромагнитного, электрослабого, сильного.

В течение ХХ в. были затрачены огромные усилия на попытки объединения закономерностей общей теории относительности и квантовой теории, но они оказались тщетными из-за того, что физики-теоретики здесь имели дело с теориями, построенными в рамках принципиально различных метафизических парадигм, а найти более общую парадигму, позволяющую взглянуть на их основания с единых позиций, так и не удалось.

В литературе представлены исследования в рамках и других парадигм, в частности можно назвать теорию прямого межчастичного взаимодействия Фоккера—Фейнмана, опирающуюся на концепцию дальнодействия, альтернативную доминирующей в ХХ в. концепции близкодействия (теории поля). В ней среди первичных понятий (категорий) вообще нет полей переносчиков взаимодействий. Их роль берут на себя категории частиц и пространства-времени в специальном обобщенном их понимании.

Таким образом, в физике ХХ в. оказались представленными теории (программы) из разных физических (а точнее, метафизических) парадигм, опирающихся на разные категории и принципы. Можно утверждать, что названные и некоторые другие исследования фактически

представляли собой попытки опереться не на три, а на меньшее число из названных или обобщенных метафизических категорий. Естественно, что главным образом изучались возможности построения физической картины мира на основе **двух** метафизических категорий: обобщенной, объединяющей в себе две категории, и оставшейся. Такие теории будем называть *дуалистическими*. Имея три варианта объединения двух категорий из трех, получаем **три типа физических теорий** (дуалистических парадигм) или *три миропонимания* одной и той же физической реальности под разными углами зрения.

Вопросы об основаниях (физической) картины мира, о числе ключевых физических категорий, о виде возможных парадигм и их числе следует отнести к сфере метафизики. Таким образом, *фундаментальная теоретическая физика XX в. оказалась неразрывно связанной с метафизикой*.

В метафизике всегда присутствовали **два** подхода к реальности: холизм и редукционизм. *Холизм* основан на таком понимании мира, когда целое доминирует, предшествует своим частям. Холизму противостоит *редукционизм*, в котором единое расщепляется на части, понимаемые более первичными, предшествующими целому. Оба этих подхода имели важное значение и дополняли друг друга в процессе познания мироздания.

Редукционизм доминировал (и продолжает доминировать) в развитии представлений о структуре материи. Достаточно назвать учение об атомно-молекулярной структуре вещества, понимание атомов в виде ядер, окруженных электронными оболочками, протонно-нейтронную модель ядер, кварковую структуру нуклонов, гипотезы о прекварках и т. п. Редукционизм проявился и в выделении названных выше категорий: пространства-времени, частиц, полей переносчиков взаимодействий, которые в триалистической парадигме имеют статус самостоятельных сущностей. Этой стороне редукционизма в книге уделено особое внимание.

Холизм можно усмотреть в трудах античных мыслителей, в стремлениях Р. Декарта, Р. И. Бопковича и других естествоиспытателей и философов нового времени построить монистическую картину мира. Особо важное значение идеи холизма имели в XX в., что проявилось в попытках теоретиков объединить известные виды физических взаимодействий, построить единую теорию поля или геометризовать всю физику.

Названные выше главные физические теории, определявшие лицо физики XX в., свидетельствуют о том, что доминирующей была тенденция перехода от триалистической парадигмы, сформулированной еще Ньютоном, через дуалистические к *монистической парадигме*, опирающейся на единую обобщенную категорию, т. е. наблюдалось стремление от категорийного редукционизма к холизму. Именно эти вопросы,

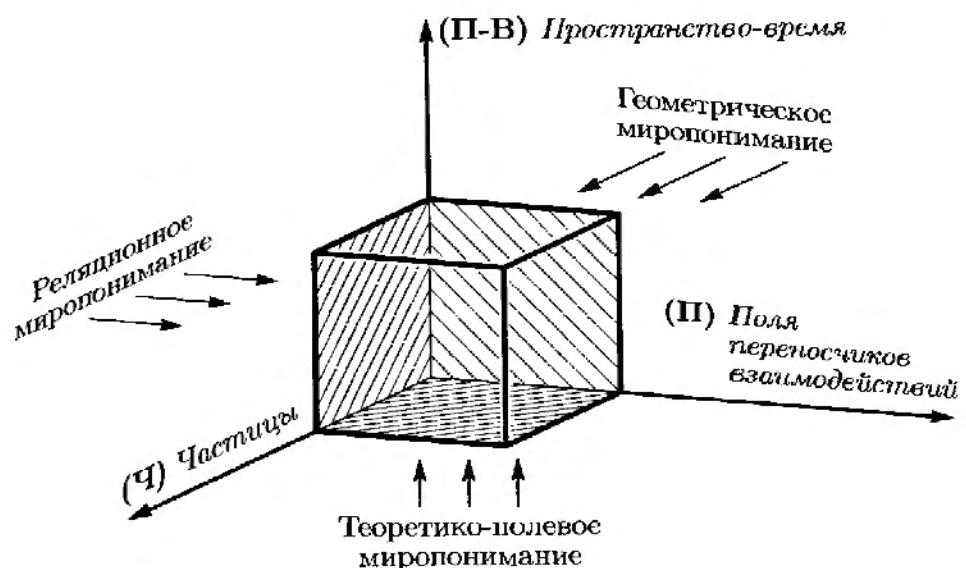


Рис. 1. Куб физического мироздания, построенный на трех метафизических категориях

а также попытки найти и описать единую обобщенную категорию (первооснову мира) находятся в центре внимания данного исследования.

Чрезвычайно важным фактором метафизического характера является выделенность, как в редукционистском, так и в холистическом подходах, **двоичности и троичности**¹⁾.

В настоящей книге анализируется и развивается тенденция к категорийному холизму (к монистической парадигме), т. е. названные категории предлагается считать лишь временными, вспомогательными понятиями, удобными для восприятия мироздания. Основное внимание будет сосредоточено на выявлении в теориях различных парадигм свойств более глубокой сущности (единой обобщенной категории), лежащей за ними.

На рис. 1 единое физическое мироздание представлено в виде куба, построенного на трех осях, соответствующих названным метафизическими категориям триалистической парадигмы. Одна из вершин куба выбрана в качестве начала координатных осей, олицетворяющих три категории: по вертикали — категория пространства-времени, по горизонтали вправо — категория полей-переносчиков взаимодействий и вперед направлена ось, соответствующая категории частиц. Физические теории триалистической парадигмы, можно сказать, описывают мироздание через проекции на оси-ребра куба.

¹⁾ Идея о единстве мира является одной из наиболее устойчивых и распространенных в мифологии и в религии практически всех народов мира. В даосизме она проявляется в виде триграмм, в индуизме это единство Брахмы, Шивы и Вишну, имеется ряд примеров троичности в античной культуре. Троичность ярко выражена в христианском догмате о Троице.

Назовем *теоретико-полевым миропониманием* вариант теорий (метафизических парадигм), основанный на объединении категорий частиц и полей. На рисунке теоретико-полевое миропонимание соответствует взгляду на куб физической реальности снизу. Этот подход определял главное, можно сказать, магистральное направление развития физики в XX в. К теориям этой парадигмы относятся квантовая механика и квантовая теория поля, в которых симметричным образом рассматриваются (бозонные) поля переносчиков взаимодействий и (фермионные) поля частиц. Апогей этого подхода проявился в открытых во второй половине XX в. суперсимметричных преобразованиях между фермионными и бозонными волновыми функциями. Эта же линия продолжается в столь модных в самом конце XX в. исследованиях суперструн и супербран. Теоретико-полевое миропонимание рассмотрено во второй части книги.

Назовем *геометрическим миропониманием* взгляд на куб физической реальности со стороны его задней грани, характеризуемой ортами категорий пространства-времени и полей переносчиков взаимодействий. Центральное место здесь занимает эйнштейновская общая теория относительности. К этому же классу теорий относятся многомерные геометрические модели физических взаимодействий, называемые ныне теориями Калуцы–Клейна, где кроме гравитации геометризируются и другие виды физических взаимодействий, в первую очередь, – электромагнитное. Геометрическое миропонимание является предметом рассмотрения в третьей части книги.

Взгляд на физическую реальность с позиций категорий пространства-времени и частиц назовем *реляционным миропониманием*. К нему прежде всего относится теория прямого межчастичного взаимодействия Фоккера–Фейнмана, основанная на концепции дальнодействия, альтернативной общепринятой концепции близкодействия, воплощенной в теории поля.

Дальнейшее развитие этого направления просматривается в бинарной геометрофизике, где вместо отдельных категорий пространства-времени и частиц вводится новая (метафизическая) категория систем отношений. Реляционному миропониманию посвящена четвертая часть книги.

Совместное рассмотрение физических теорий (программ) в рамках различных парадигм позволило сформулировать ряд ключевых метафизических принципов, которым в книге удалено особое внимание. Забегая вперед, назовем их.

1. **Принцип тринитарности, принимающий вид троичности в редукционистском подходе и вид единства в холистической парадигме.**

2. **Принцип фрактальности**, состоящий в том, что в каждой выделенной из целого части проявляются свойства всех других частей (сторон целого).
3. **Принцип октетности метафизических парадигм**, утверждающий наличие совокупности из восьми ключевых метафизических парадигм: триалистической, монистической и трех пар промежуточных дуалистических парадигм (названных выше тремя видами миропониманий).
4. **Принцип дополнительности**, согласно которому различные дуалистические метафизические парадигмы (миропонимания) не противоречат, а дополняют друг друга. Этот принцип является обобщением известного принципа дополнительности Н. Бора, однако теперь он относится не к двум, а к трем сторонам реальности.
5. **Принцип консонанса (созвучия)** теорий в рамках трех дуалистических миропониманий.
6. **Принцип целостности**, состоящий в том, что ключевые закономерности теорий (законы, уравнения) должны включать в себя характеристики всех категорий используемой парадигмы.

Более подробно эти принципы расшифрованы и обоснованы в соответствующих главах.

Главной целью физиков-теоретиков является построение физической картины мира на основе **единой обобщенной категории**, которое по-разному «видится» с каждой из трех сторон куба: единый вакуум в теоретико-полевом подходе, единая геометрия в геометрическом миропонимании или единая система отношений (структура) в реляционном миропонимании. На наш взгляд, это разные названия одного и того же физического (метафизического) первоначала — того, что лежит «за», «над» или «под» физикой и составляет ядро (холон) монистической парадигмы, причем различие обусловлено предварительным, пока еще неполным его знанием в отдельных миропониманиях.

Одна из задач книги состоит в *представлении основ новой физической программы (парадигмы) – бинарной геометрофизики как предгеометрии*, – основанной на **одной обобщенной метафизической категории**. Выход на эту монистическую парадигму оказался возможным в результате анализа всех других физических (метафизических) парадигм, опирающихся на комбинации двух и трех начал (категорий). Бинарная геометрофизика впитала в себя ряд черт теорий других парадигм, в частности идеи многомерных геометрических теорий Т. Калуцы и О. Клейна, теории прямого межчастичного взаимодействия Фоккера–Фейнмана, и использует результаты квантовой теории поля. В гл. 14 и 15 обсуждены ее возможности в описании физики микромира, в частности в решении проблемы объединения физических взаимодействий.

Для осмысления и получения наблюдаемых следствий из теоретических построений, содержащих обобщенные категории, необходимы *методы обратного возвращения* к привычным понятиям (категориям) триалистической парадигмы, что осуществляется посредством своеобразных методов проецирования новых теорий на классические понятия. В общей теории относительности это делается с помощью методов систем отсчета. В теориях Калуцы и Клейна используются аналогичные методы $1+4$ или $1+\dots+4$ -расщепления, которые можно понимать как обобщенные системы отсчета, характеризующие физическую ситуацию. В квантовой механике это реализуется с помощью эрмитовых операторов, обладающих вещественными собственными значениями, которые соответствуют показаниям макроприборов. Известно, что В. А. Фок в России и В. Паули на Западе обращали внимание на эквивалентность ролей макроприбора в квантовой механике и системы отсчета в теории относительности.

Сформулированные выше принципы метафизики проявляются и в других областях знания и сферах мировой культуры. В последней, шестой части книги это демонстрируется на примере философско-религиозных учений.

Глава 1

Метафизика с древнейших времен до XVIII в.



Процесс формирования ключевых метафизических категорий¹⁾ чрезвычайно интересен и в какой-то степени поучителен для исследователей в области фундаментальной теоретической физики, так как многие проблемы рубежа XX и XXI вв. перекликаются с научнымиисканиями прошлого. Более того, по словам Э. Шредингера, «с помощью серьезной попытки возвратиться в интеллектуальную среду античных мыслителей, гораздо меньше знаяших то, что касается действительного поведения природы, но также зачастую значительно менее предвзятых, мы можем вновь обрести у них свободу мысли, хотя бы, возможно, для того, чтобы использовать ее с нашим лучшим знанием фактов для исправления их ранних ошибок, которые все еще могут ставить нас в тупик» [198, с. 18].

Обращение к истории науки убедительно свидетельствует о том, что наличие разных точек зрения служило одним из важных стимулов для развития естествознания в Европе и что быльые конфронтации различных школ и систем, как и сегодня, носили метафизический характер и были обусловлены попытками канонизировать лишь одну из парадигм, которые впоследствии, как правило, оказывались не альтернативными, а дополняющими друг друга.

1.1. Метафизика древнего мира

Корни метафизики принято искать в античной философии VI—V вв. до н. э., однако имеется немало данных о метафизических воззрениях еще более древних культур Китая, Египта, Индии и других народов.

¹⁾ В философском плане, причем в тесной связи с естествознанием, данная проблематика затронута в монографиях П. П. Гайденко «История греческой философии в ее связи с наукой» [40] и «История новоевропейской философии в ее связи с наукой» [41].

1.1.1. «Книга перемен»

Известно, что примерно в одно и то же время с античной философией возникли философско-религиозные учения Востока: буддизм и даосизм. В их основе лежало еще более древнее учение, принадлежавшее легендарному первому правителю Поднебесной мудрецу Фуси (2852–2737 гг. до н. э.). Тогда же были сформулированы принципы «Книги перемен» («И цзин»), составившей ядро менее древнего китайского «Пятикнижия» («У цзин») XII в. до н. э. и затем отраженной Лао-Цзы (VI–V вв. до н. э.) в его основополагающем сочинении «Книге о дао и дэ» («Дао дэ цзине»).

В этих выдающихся памятниках древнего Китая были выражены представления о *неразрывном единстве мира*, которые, кстати сказать, были характерны и для ряда античных мыслителей. Согласно «Книге перемен», единое Первоначало проявляется в виде *двух противоположностей инь и ян*, иллюстрируемых в виде широко известного «Чертежа Великого предела» («Тай цзи ту») (см. рис. 1.1). Единый круг разделен на две половины, где черная половина обозначает *инь*, а белая — *ян*. Образ круга является, с одной стороны, символом некоторой целостности, образованной двумя противоположными, но взаимодополняющими друг друга сторонами (началами), а с другой — отражает цикличность их взаимодействий. Изгиб линии, разделяющей две половины круга, подчеркивает динамику взаимодействия сторон *ян* и *инь* и их готовность к переходу из одной в другую. Белая точка на черном фоне и черная точка на белом фоне олицетворяют «зародышевые» состояния будущих превращений, внутреннюю взаимосвязь, взаимопроникновенность полярностей, являющихся, по выражению сунского мыслителя Чжоу Дуньи (1017–1073), «корнями друг друга». Уже из названия «Книги перемен» следует направленность этого учения на познание изменений и процессов перемен, в отличие от ряда античных учений, обращенных к неизменным небесным истинам.

Чрезвычайно важной особенностью древнего китайского учения является опора на *комбинацию двоичности (диалектики) и троичности («триадологии»)*. В «Книге перемен» определено понятие «середины» (чжун) между двумя противоположностями и введено третье начало в системе миропонимания. Таким образом совершался переход от двоицы к троице, которая обычно интерпретировалась как Земля, Небо и Человек между ними. Позднее, в «Книге о дао и дэ», эта мысль была выражена более абстрактно: «Дао порождает единое, единое порождает двоиницу, двоиница порождает троиницу, а троиница порождает все множество вещей». При этом Дао понималось как единый непостижимый, всеохватывающий и таинственный источник и принцип движения всего сущего.

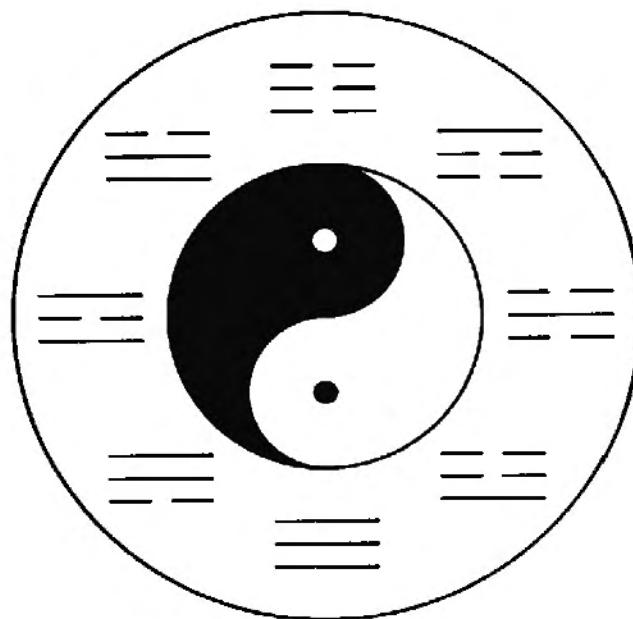


Рис. 1.1. Символы *инь* и *ян* в окружении восьми триграмм

Для комбинации двоичности и троичности был найден наглядный образ в виде системы триграмм, каждая из которых изображается тремя параллельными отрезками двух видов: прерывистого, соответствующего *инь*, и сплошного, олицетворяющего *ян*. Из трех таких отрезков возможно построить восемь различных комбинаций. На древнем рис. 1.1 они изображены вокруг *инь* и *ян* внутри круга, олицетворяющего единство мира¹⁾.

Круг мог обозначать и иное: отделение мира земного от мира небесного. На некоторых древних рисунках изображалась двойная система триграмм: одна восьмерка триграмм помещалась внутри круга, как на рис. 1.1, а другая восьмерка — по периметру окружности вне круга. Внутренние триграммы характеризовали земной мир, а наружные — небесный, а их сочетание давало систему гексаграмм. Примечательно, что небесный и земной миры характеризовались одинаковым образом.

В древнем Китае через триграммы трактовались всевозможные процессы в мире, как в космосе, так и в судьбе человека: возникновение, созревание, угасание и т. д., причем разные этапы процесса виделись в переходе от одной триграммы к другой, т. е. понимались как изменения в триграаммах отдельных составляющих.

Возвращаясь к метафизическим категориям и классификации современных физических теорий, заметим, что три отрезка триграмм можно сопоставить с тремя метафизическими категориями в физике: пространством-временем, частицами и полями переносчиков взаимодействий. То-

¹⁾На рисунке выбран порядок расположения триграмм, отличающийся от традиционных систем Фуси или Вэнь-вана, но более подходящий для метафизики.

гда эволюция представлений о мире в естествознании прошлого и смена парадигм в теоретической физике XX в. также могут быть сопоставлены с переходами между триграммами древнего рис. 1.1. Аналогичные процессы просматриваются и в истории философско-религиозной мысли Западной Европы на протяжении двух с половиной тысячелетий.

В древнекитайской философии проявлялась удивительная гармония в понимании различных сторон реальности, в частности в определении сути математики (чисел), материи и движущих сил. Древнекитайские мудрецы считали числа одной из важнейших характеристик бытия, элементами некоего космического кода, с помощью которого структурируется и описывается мир. Числа делают вещи познаваемыми, однако вне вещей и процессов они не существуют. В то же время китайцы воспринимали число как некую творческую силу, приводящую к расчленению всякой непрерывности. Нечетные числа считались янскими, а четные — иньскими. Таким образом, натуральный ряд чисел предстает как последовательное чередование янского и иньского начал. Наибольшим смыслом обладали первые числа натурального ряда.

Развитие восточной и западной цивилизаций шло двумя различными путями. Философско-религиозная мысль Востока всегда исходила из неделимого единства мира, а на Западе познание развивалось по пути расчленения единого на части. Эти два подхода к физической реальности получили название *холизма* и *редукционизма*, первый характерен для восточной цивилизации, тогда как второй стал доминирующим в миропонимании западной цивилизации, хотя в учениях пифагорейцев и Платона были сильны идеи холизма.

Противоположными у китайцев и европейцев были и представления о возникновении мира, в которых отразились разные точки зрения: *эволюционная* и *креационистская*. В Европе возобладало креационистское понимание: согласно христианскому учению, мир был сотворен Богом, что соответствует современной физической концепции рождения Вселенной в результате «Большого взрыва». На Востоке утвердился эволюционный подход к происхождению мира из абстрактного Дао, — в китайском учении не было антропоморфного Первоначала и отсутствовали представления о сотворении мира неким сверхъестественным существом.

Наблюдаемая в современной фундаментальной теоретической физике тенденция объединения физических категорий в единое неразрывное целое позволяет говорить о некотором сближении с восточной культурой и о перспективности религиозных и философских идей Востока для осмыслиния создаваемой новой физической картины мира. В связи с этим выделим несколько естественнонаучных аспектов в древних учениях Китая, подробно рассмотренных в монографии В. Е. Еремеева «Символы и числа „Книги перемен“» [61].

1. Китайцы представляли себе живой мир-организм обладающим принципом масштабного самоподобия (принципом фрактальности), при котором каждая отдельная вещь состоит из частей, подобных ей как целому, и в то же время сама эта вещь является одной из частей целостного мира и подобна ему структурно. Это означало сходство свойств в микро- и макромирах.

2. Для китайской картины мира характерны представления о непрерывной энергетической субстанции, заполняющей пространство (космос), из которой дифференцируются *инь* и *ян*, участвующие в мировых трансформациях и образующие те или иные вещественные формы. Идеи же дискретности (атомарности) материи в миропонимании древнего Китая отсутствовали.

На современном языке можно сказать, что китайские мудрецы мыслили в терминах полевой теории, согласно которой непрерывное нечто, соответствующее полю, распространяется по всей системе, а не локализовано в отдельных ее элементах. Более того, они исходили из убеждения, что не существует абсолютно автономных субстанциальных сущностей, а есть только сгустки космического поля (энергии).

3. Китайские мыслители полагали, что познанию подлежат только силы взаимодействия между временно образованными центрами сгущений энергии (поля), т. е. внимание было обращено не на взаимодействующие тела, а на силовое пространство между ними. Космос представлялся единым космическим организмом, связанным взаимодействующими силовыми полями. Понятия «отношение», «связь», «движение», «перемены», обслуживающие процессуальное описание действительности, были более значимы для китайской мысли, чем категории «частиц», «субстанции». В этом состоит ее главное отличие от западного мышления.

4. Вся Вселенная представлялась сплетенной из цепочек порождений и всеобщих перемен. В этом океане переменчивости допускались и островки неизменности, но только на некоторое время, потом они должны были сменяться другими временными неизменностями. При этом время находилось в зависимости от явлений, имеющих такую же природу, что и «перемены». Полагалось, что время управляет Небом и Землей, последние управляют переменами, а перемены управляют временем, так что невозможно было указать один универсальный источник изменений — все выстраивалось в тотальную круговорть перемен.

1.1.2. Древние космогонические представления народов мира

Рассмотрим древнейшие философско-религиозные учения, за мифо-поэтическими образами которых скрываются метафизические понятия, идеи и принципы.

I. Космогония древнего Египта. Известно, что со времен Древнего Царства в Египте существовали три космогонические школы: в Гелиополе, Гермополе и в Мемфисе. Космогонии первых двух школ были достаточно близки друг другу. Согласно их поминанию, в самом начале был хаотический праокеан Нуи, таящий в себе возможность возникновения всего сущего в мире. Из этого праокеана выделился бог вечности Атум, что трактовалось как осознание единым Богом самого себя. Затем Атум создал двух богов (Шу и Тефнута), которые затем сотворили еще шесть богов. В итоге к первичному Богу Атуму была добавлена божественная восьмерка. По гермопольской космогонической версии, из первичного праокеана возможностей сразу возникла восьмерка богов (четыре пары «бог — богиня»). Их имена соответствовали свойствам праокеана: бесконечности в пространстве, мраку, тайному началу, водной стихии и др.

Согласно космогонии древнейшей египетской столицы Мемфиса, все сущее и всех богов сотворил бог Птах силой творческой воли и слова, рожденного в его сердце. При этом волю олицетворял бог Сиа, слово — бог Ху, а магическую силу слова — бог Хека. Это учение, известное египтянам еще в III тысячелетии до н. э., перекликается с античным учением о Слове-Логосе — первообразе мира, — и с христианской космогонией — «В начале было Слово, и Слово было у Бога, и Слово было Бог» (Ин. 1.1).

Таким образом, древнеегипетские метафизические представления пересекаются с догматами христианства и с учением Древнего Китая. Вспомним слова: «Единое порождает двоицу, двоица порождает троицу, а троица порождает все множество вещей». Примечательны также неоднократные упоминания о восьмерке.

II. Зороастрийская космогония. Немало откровений метафизического характера можно обнаружить в религиозных представлениях зороастрийцев. Напомним, что Зороастра жил в последней четверти II тысячелетия до н. э., но истоки его учения уходят в еще более древние времена.

Согласно зороастрийской концепции, вся история мира делится на четыре периода. В первый период, — предсуществования вещей и идей, — Ахура-Мазда создает идеальный мир абстрактных понятий. Утверждается, что на этой стадии небесного творения уже присутствовали прообразы всего, что позднее будет создано. Это состояние мира

называется *менок* (т. е. «невидимый» или «духовный»). Во втором периоде происходит сотворение тварного мира, т. е. реального, зримого, «населенного тварями». Ахура-Мазда создает небо, звезды, Луну и Солнце, за сферой которого находится обиталище самого Ахуры-Мазды. В этот период в мир вторгается второе, противоборствующее начало и в силу воздействия двух начал весь мир приходит в движение. Третий период охватывает время до появления пророка Зороастра. В заключительный, четвертый период предсказывается появление трех Спасителей, являющихся сыновьями Зороастры. Последний из них, Саошьянт решит судьбу мира и человечества.

Примечательно описание небесного обиталища Ахуры-Мазды в виде древней восточной притчи, которую рассказали духи попавшим туда странникам, увидевшим звезду в центре обиталища: «Видите сияние в центре звезды? Здесь — источник энергии, которая дает вам существование. Подобно птице Феникс, Мировая Человеческая Душа вечно умирает и вечно возрождается в Неугасимом Пламени. Каждый миг она разделяется на мириады отдельных звезд, подобных вашей, и каждый миг воссоединяется, не уменьшаясь ни в содержании своем, ни в объеме. Форму звезды мы придали ей потому, что, подобно звезде, во мраке дух Духа духов всегда освещает материю. Помните, как в осеннем земном небе вспыхивают падающие звезды? Подобно тому в мире Творца ежесекундно вспыхивают звенья цепи «души-звезды». Они рассыпаются на осколки, как порванная жемчужная нить, как капли дождя, осколки звезды падают в мире творения. Каждую секунду на внутреннем небе появляется звезда: это, воссоединившись, «душа-звезда» поднимается к Богу из миров смерти. Видите два потока из этих звезд — нисходящий и восходящий? Вот истинный дождь над нивой Великого Сеятеля. В каждой звезде есть один главный луч, по которому звенья всей цепи, как по мосту, проходят над бездной. Это «царь душ», тот, который помнит и несет на себе все пропиле каждой звезды. Слушайте внимательно, странники, самую главную тайну Горы: из миллиардов «царей душ» составляется одно верховное созвездие. В миллиардах «царей душ» прежде вечности пребывает Один Царь — и на Нем упование всех, вся боль бесконечного мира...»

III. Космогония индуизма представляет особый интерес, поскольку в Индии бережно хранили древние предания, не искажая их первооснову, как это бывало в других регионах, а лишь дополняя ее новыми подробностями. Согласно древнеиндийским представлениям, вначале не было ничего, кроме тьмы первозданного хаоса. Приведем начальный фрагмент гимна из Ригведы (I тысячелетие до н. э.), в котором говорится о сотворении мира:

«Не было не-сущего, и не было сущего тогда.

Не было ни воздушного пространства, ни неба над ним.

Что двигалось туда и сюда? Где? Под чьей защитой?
 Что за вода была — глубокая бездна?
 Не было ни смерти, ни бессмертия тогда.
 Не было ни признака дня (или) ночи.
 Дышало, не колебля воздуха, по своему закону нечто Одно,
 И не было ничего другого, кроме него»

(цит. по [60, с. 31]). Из первоначального хаоса возникли воды (изначальное море), породившие огонь, а огонь — яйцо. Из яйца появился прародитель Браhma и разбил яйцо надвое. Из одной половины он сделал небо, а из другой — землю. Между ними Браhma поместил воздух, создал страны света, положил начало времени и создал всю Вселенную.

Традиционный индуизм полагал, что Вселенная бесконечна и находится в процессе постоянного рождения и гибели отдельных миров. Известный же человеку мир со всем сущим в нем мыслился как ничтожно малое звено во времени бытия Вселенной.

Обратим внимание на понятие изначального хаоса в индуистской космогонии, которое характерно также для древнеегипетских и античных представлений о творении мира. Общим для миропонимания древних является и образ двух частей яйца, между которыми творится Вселенная и наш мир.

IV. Космогония майя интересна тем, что возникла в регионе, изолированном от Европы и Азии. В этой космогонии первопричиной является время, которое появилось и имело имя, когда еще не существовало ни Неба, ни Земли. Дни родились на Востоке и отправились в путь. Первый день вытащил из своих внутренностей Небо и Землю, второй день построил лестницу, по которой спускался дождь, и т. п.

Здесь опять повторяются две противоположности в виде неба и земли, между которыми возводится сначала лестница, а затем и все остальное. Как и в Книге Бытия, творение мира расписано по дням с той разницей, что оно происходило в течение не шести, а тринадцати дней.

Можно существенно продолжить рассмотрение космогоний древности, однако изложенного уже достаточно для того, чтобы сформулировать ряд гипотез и возникающих в связи с ними вопросов, которые в последнее время звучат все более настойчиво.

1.1.3. Гипотезы и размышления

Сопоставление философско-религиозных учений и мифов народов мира демонстрирует проявления одних и тех же метафизических принципов, лежащих в основе всякого рационального осмысления Вселенной. Данная позиция представляется достаточно весомой, и мы будем возвращаться к ней в дальнейшем.

Однако имеется и иная точка зрения: дошедшая до нас информация о древних культурах имеет некий единый источник. Данная мысль высказывалась многократно представителями различных наук и профессий, среди которых назовем известного математика Бартела ван дер Вардена, проанализировавшего математические сведения, которыми располагали различные народы мира (см. [37, с. 9]). Согласно его аргументации, в древности (III – начало II тысячелетия до н. э.) существовала высокоразвитая математическая традиция, ставшая впоследствии фундаментом для египетской, вавилонской, китайской, греческой и индийской математики.

Эта гипотеза согласуется с легендами и преданиями древней Греции, где упоминаются сведения об Атлантиде и других погибших цивилизациях¹⁾. Если гипотеза существования на Земле высокоразвитой древней цивилизации (или даже нескольких цивилизаций) верна, то отсюда следуют ряд далеко идущих выводов и вопросов, в том числе и метафизического характера.

- 1) Признание существования высокоразвитых прошлых цивилизаций означает, что в истории Земли были периоды, когда цивилизация развивалась как по восходящей, так и по нисходящей линии. Известно, что европейцы, открыв Америку, обнаружили там полудикие племена, живущие среди руин великолепных древних сооружений. А основатели философских школ античности Пифагор, Платон и некоторые другие являются преемниками информации, которой владели египетские жрецы, получившие ее от предшествующих поколений. Значит, материальное и интеллектуальное наследие древнейших цивилизаций продолжало участвовать в развитии мировой культуры.
- 2) Интерпретация древних мифов, религиозных памятников и космогнических представлений, сохранивших воспоминания о более древней цивилизации, сопряжена с известными трудностями, так как производится на основе представлений той культуры, которая занимается дешифровкой. Нельзя забывать, что памятники прошлого дошли до нас через многие века (и тысячелетия) в виде устных преданий,

¹⁾Знакомство с египетскими пирамидами в Гизе, Медуне, Дащуре, Саккаре также вызвало у автора убежденность, что они не могли быть построены египтянами в эпоху IV династии, как их датируют историки. В то время Египет располагал лишь бронзовыми орудиями, а в пирамидах и около них можно обнаружить множество свидетельств (в виде отверстий, пропилов, шлифовки и т. д.) обработки камня твердых пород (гранита и базальта) инструментами, соперничающими с современными, а может быть, даже и превосходящими их.

Еще более поражают сведения об остатках древних культур на территории Перу и Боливии. Создается впечатление, что для древних цивилизаций не составляло труда с высокой точностью вырезать многотонные фрагменты из скал.

т. е. они пересказывались людьми, утратившими исходный уровень культуры. Вместе с тем, ученые продолжают обращаться к древним памятникам, стремясь найти в них подтверждения своим идеям и концепциям. Известно, что Г. Лейбниц живо интересовался культурой древнего Китая, в частности триграммами. Дж. Уилер, развивая геометрическую парадигму, неоднократно обращался к древнеиндийским ведам [165]. В. Гейзенберг был прекрасным знатоком античной философии и в своих трудах неоднократно проводил аналогии между современной квантовой механикой и учением Аристотеля.

- 3) В ходе изучения древней космогонии слова о первичном хаосе, праокеане и т. п., из которых образовался мир, трактуются буквально как о начале Вселенной во времени. Ничего, кроме хаоса или даже символического «ничего», не было, а затем из него в уже готовом времени или вместе с ним возник мир. Это наиболее естественное восприятие текстов. Однако на современном этапе развития фундаментальной теоретической физики возникли принципиально новые представления, а следовательно, и возможность иной интерпретации.

После создания квантовой механики физикам стало очевидно, что в основе нашего мира лежат вероятностные закономерности и в каждый момент имеется совокупность возможностей перехода мира из одного состояния в другое. Но как из вероятностного начала осуществляется переход к наблюдаемым понятиям окружающего нас мира? Как возникают понятия частиц, тел, полей переносчиков взаимодействий и даже понятие самого пространства-времени? Очевидно, ответ на эти вопросы лежит за пределами комплекса привычных понятий, а значит, и за пределами классических представлений. (В рамках идей современной физики эта проблема обсуждается в пятой части книги.)

В связи с этим можно поставить вопрос: не являются ли слова о первичном хаосе, праокеане и т. д. отголоском посланий древних цивилизаций, уже знакомых как с данной проблемой, так и со стадиями ее решения? Примечательно, что идея постоянного «творения мира» содержится в ряде религиозных учений¹⁾.

- 4) Если принять гипотезу существования высокоразвитых древних цивилизаций, то встают вопросы о назначении пирамид²⁾ и остатков других древних сооружений, разбросанных по земному шару. Общепринятое объяснение историков, что пирамиды строились в риту-

¹⁾ Данная проблема также тесно связана с широко обсуждаемыми в настоящее время вопросами соотношения науки и религии. Как правило, ограничиваются рассмотрением соотношения христианского учения и науки. Но данная проблематика затрагивает более широкий круг вопросов, поскольку христианство возникло и развивалось на базе древних культур и характерных для них представлений.

²⁾ Некоторыми авторами возраст пирамид оценивается в 10–12 тыс. лет.

альных целях, физиков не убеждает. Скорее всего, пирамиды были приспособлены для ритуальных целей последующими поколениями египтян. Как пишет исследователь древних культур А. Ю. Скляров, «в Египте и ныне сохранилось очень много свидетельств существования в глубокой древности мощной и высокоразвитой цивилизации, уровень которой по целому ряду параметров превосходил уровень современного человечества. Фараоны же лишь ремонтировали и использовали древние сооружения, доставшиеся им в наследство, а также пытались проникнуть в «тайное знание богов», организуя тысячи лет назад проведение археологических работ в государственных масштабах» [152]. Если это так, то зачем строились пирамиды? Высказываются гипотезы, что они представляют собой какие-то приборы неизвестного нам назначения¹⁾.

1.2. Метафизика в учениях античности

Метафизика восточных учений с большим запасом отвечала на запросы жизни и, видимо, не располагала к активному философскому поиску. На Западе, удаленном от влияния Востока, развитие шло иным путем. В древней Греции сложилось несколько учений, опирающихся на разные метафизические парадигмы (разные «метафизики»), что, как это ни парадоксально, на первый взгляд, оказалось плодотворным для зарождения науки, развивавшейся в западном регионе без заметного влияния восточной культуры²⁾.

При анализе учений древности, как и последующих эпох, следует принимать во внимание их философско-религиозную структурность. Здесь имеется в виду мировосприятие на основе одного, двух, трех (или большего числа) факторов, представляющих *материальное*, *идеальное* (*рациональное*) или *духовное начало*. Это убедительно свидетельствует о метафизическом характере учений и позволяет говорить о монистической метафизической парадигме, о триалистической парадигме, опирающейся на три начала, а также о нескольких дуалистических парадигмах. Для античности типичен дуалистический способ мировосприятия, опирающийся на *идеальное и материальное начала*.

¹⁾ В надежде найти ответ на этот вопрос организуются экспедиции, в которых принимают участие ученые разных специальностей (геофизики, магнитологи, биофизики и т. д.). Следует назвать ряд экспедиций в Египет, Мексику, Перу, Боливию и в другие регионы мира, организованных Д. Г. Павловым, который привлек к работе высококвалифицированных специалистов. Интересна и выдвинутая Д. Г. Павловым гипотеза, согласно которой форма пирамид тесно связана с закономерностями специфической финслеровой геометрии [121, 122].

²⁾ Некоторые авторы оспаривают это мнение и приводят доводы в пользу влияния восточной культуры на формирование учений античности (см., например, [61]).

Каждое из названных начал характеризуется одной из возможных метафизических парадигм, отличающихся своими специфическими понятийными сферами, причем представления об идеальном начале могли не совпадать с парадигмой материального начала, что подтверждается множеством примеров.

Охарактеризуем ведущие античные школы, обращая особое внимание на процесс формирования ключевых физических категорий: частиц (материи), пространства и времени, взаимодействий.

1.2.1. Школа Пифагора

Одним из ярчайших доказательств философско-религиозных истоков науки является рождение математики, обязанной своим появлением **Пифагору (VI в. до н. э.)**, основавшему религиозный орден, целью которого было очищение души человека для спасения от круговорота рождений и смертей. Главным средством такого очищения объявлялось занятие наукой, прежде всего математикой.

1. Для школы Пифагора было характерно единство философии, религии, математики и в какой-то степени физики, поэтому утвердившуюся в ней философско-религиозную метафизическую парадигму следует назвать *монистической*. Пифагорейцы особое значение придавали рациональному мышлению, возвысив математику до уровня религиозно-мистического учения. Рассматривали числа и числовые отношения как ключ к пониманию мироздания и его закономерностей, Пифагор был убежден, что «книга природы написана на языке математики». Спустя почти два тысячелетия эту же точку зрения высказал Галилей.

В качестве божественного и естественнонаучного Первоначала понималась единица, рассматривавшаяся как начало чисел и как математический представитель мирового единого и непостижимого: чтобы стать числом, все должно приобщиться к единице. Пифагорейцы считали, что то, в чем не обнаруживается «природа» чисел, не может быть предметом познания.

2. Очевидно, что в монистической философско-религиозной парадигме методологическая и естественнонаучная парадигмы совпадают (тождественны) и также являются *монистическими*. Однако, как будет показано ниже, Первоначало в такой философской системе неизбежно должно обладать несколькими *неразрывно связанными сторонами*. Об этом, анализируя метафизику античности, писал В. Гейзенберг: «... возникает убеждение, что должен существовать единый принцип; но в то же время возникает трудность, каким путем вывести из него все многообразие вещей. Естественный исходный пункт: существует материальная первопричина вещей, так как мир состоит из материи. Однако при доведении до логического конца идеи о принципиальном единстве

приходят к бесконечному неизменному субстанциальному «бытию», которое само по себе не может объяснить все бесконечное многообразие вещей безотносительно к тому, считаем мы это бытие материальным или нет. Отсюда полярность бытия и становления...» [44, с. 30]. Этот вопрос занимал важное место в учениях Платона и Аристотеля.

В философии Пифагора выделялись две противоположности: единое и беспредельное, числовыми образами которых были единица и двойка, не считавшиеся числами. Первым числом была тройка. Две противоположности отображались во всем числовом ряде через четные и нечетные числа, подобно древнекитайским началам «ян» и «инь». Можно утверждать, что в учении пифагорейцев были заложены основы диалектики.

В соответствии с монистической философско-религиозной парадигмой пифагорейцы *не отделяли чисел от вещей*. Как писал позже Аристотель, «во всяком случае, у них, по-видимому, число принимается за начало и в качестве материи для вещей, и в качестве выражения для их состояний и свойств» [1]. Говоря современным языком, идеальное (числа) и материальное (тела) понимались в школе Пифагора как нераздельное целое.

3. Материальный мир (космология) пифагорейцев также основывался на диалектических представлениях о двух противоположностях: предельном (наблюдаемом мире) и беспредельном (пустоте, окружающей мир). Предельное как бы «вдыхает в себя окружающую его пустоту», в результате чего в нем возникает множественность вещей. Аналогичным образом число понималось как возникающее из соединения предела и беспредельного.

В учении Пифагора довольно быстро вскрылся ряд трудностей, наиболее существенными из которых были *открытие несоизмеримых отрезков и проблема описания движения*.

Несоизмеримость отрезков проявилась в невыразимости в целых числах отношения диагонали к стороне квадрата. Трудности аналогичного плана возникли при извлечении квадратного корня из целых чисел, например $\sqrt{2}$, при рассмотрении отношения окружности к радиусу и т. д.

Попытки справиться с проблемой несоизмеримости привели Евдокса (прибл. 408–355 гг. до н. э.) к формулировке аксиомы, которую ныне принято называть аксиомой Архимеда. Позже она была включена в аксиоматику геометрии Евклида в качестве четвертого определения.

Проблемы, возникшие при описании движения на основе целочисленной природы мира, нашли отражение в известных апориях Зенона (V в. до н. э.). Утверждают, что всего их было 45, но до нас дошло 9: «Дихотомия», «Ахиллес и черепаха», «Стрела», «Стадий» и другие.

1.2.2. Школа Платона

Платон (427–347 гг. до н. э.) и созданная им Академия опирались на учение пифагорейцев, несколько его трансформировав.

1. Прежде всего следует отметить, что в школе Платона монистическое философско-религиозное учение Пифагора было заменено на дуалистическое, в котором разделялись *идеальное (рациональное) начало*, имеющее дело с «горним» миром высшей реальности, и *материальное начало*, соответствующее «дальнему», физическому миру (низшей реальности). Превыше всего ставилась философия (религия), тесно связанная с математикой, а физика, как имеющая дело с объектами чувственного (материального) мира, занимала подчиненное место. Вслед за пифагорейцами Платон уверовал в то, что математическое знание, знание о числах и соотношениях между ними, является единственным достоверным в противоположность мнимым знаниям, т. е. мнениям, которые в то время именовались «физикой». Платон определял две задачи математики. Первая (главная) служила цели приобщения человека к божественному, небесному, к «горнему миру», а вторая понималась как средство упорядочения и расчленения низшей сферы — «дальнего мира», текучего, неуловимого, материального. Платон считал, что чувственный, материальный мир не может быть предметом научного знания, поскольку представляет собой лишь царство теней от высшего мира идей.

2. Метафизика мира высшей реальности имела у Платона *диалектический характер*: мир рассматривался единым, имеющим две противоположные, но взаимодополняющие стороны. Допущение двух противоположных утверждений (сторон), из которых выводились все возможные следствия и через которые всякое понятие получало свое содержание, обусловило приоритетное внимание к самим отношениям.

В платоновской диалектике, доведенной до логического конца, признавался лишь *циклический метод доказательств*, когда исходные положения обосновываются через сопоставления их с противоположными суждениями. Данный подход отличался от *линейного* (точнее, лучеобразного) *метода*, позднее оформленного в трудах Евклида, который исходил из системы аксиом и постулатов.

В соответствии с дуалистическим характером своей философии, Платон резко разделял математику на арифметику и геометрию. Арифметика занимала у него главное положение, как более простая, достоверная и наиболее близкая к миру высших идей. Геометрию же он понимал как нечто среднее между идеями и чувственным миром, считая, что сами геометры не знают, что такое пространство, и вынуждены постулировать исходные положения своей дисциплины как недоказуемые.

3. Ко всем построениям физиков Платон относился как к более или менее правдоподобным мнениям или мифам, считая таковыми и космологические представления. Тем не менее он предложил свой миф, к которому, впрочем, не относился достаточно серьезно. Этот миф был выдержан в присущем Платону диалектическом духе. Над всем миром ставился его создатель — Демиург, который располагал двумя началами: *материальным* — бесформенным субстратом, служившим материалом для строительства, и *идеальным* — образцом, «первообразом», взирая на который создатель мог сотворить мир. Материю Платон именовал «восприимницей», «кормилицей», иногда — матерью всего, что возникает в чувственном мире. Таким образом, в космологии Платона выделялось «то, что рождается, то, внутри чего совершается рождение, и то, по образцу чего возрастает рождающееся». Воспринимающее начало (материя) уподоблялось матери, образец — отцу, а получающийся в итоге мир — ребенку.

Таким образом, в физическом «дольнем мире» у Платона уже было введено понятие *материи* как субстрата, лишенного каких-либо качеств, в который должно быть нечто привнесено, чтобы он превратился в известные формы вещества, в тела. Кроме того, Платон выделял понятие *пространства*, в котором он видел лишь предпосылку существования геометрических объектов.

Возвысив математику над материальным миром, Платон рассуждал о правильных многогранниках как о сущности природных элементов. Во второй половине XX в. это оказалось созвучным групповому подходу в физике элементарных частиц, где фундаментальные физические взаимодействия и виды элементарных частиц связывают с группами внутренних симметрий. Данное обстоятельство позволило В. Гейзенбергу, С. Вайнбергу и некоторым другим утверждать, что физика XX в. движется в направлении идей Платона. Так, Вайнберг писал: «Материя, таким образом, теряет центральную роль в физике: все, что остается, — это принципы симметрии и поведение волновых функций при преобразованиях симметрий» [18].

Иной повод обратиться к взглядам Платона дала теория физических структур, представлявшая собой универсальную алгебраическую теорию отношений между элементами произвольной природы. Ее автор Ю. А. Кулаков предлагает интерпретировать свою теорию в платоновском духе, т. е. как программу, по которой был создан материальный мир (см. гл. 12 и 14).

1.2.3. Учения материалистов: от Фалеса до Демокрита

Доаристотелевский период принято характеризовать как включающий две ветви развития мысли: идеалистическую и материалистическую. Первая представлена школами Пифагора и Платона, а вторая — школой Фалеса и учением Демокрита. Оба направления развивались в рамках одной и той же дуалистической философско-религиозной метафизической парадигмы, опирающейся на идеальное и материальное начала. Можно даже утверждать, что методологические парадигмы в этих двух ветвях были близки друг другу, однако физическая (естественнонаучная) парадигма у них оказалась разной. Напомним, в школе Платона монистическая диалектическая парадигма мира высшей реальности привлекалась для описания и материального «дольнего» мира, понимавшегося лишь как тень «горного» мира, тогда как в материалистической ветви физический мир приобрел самостоятельный, если не доминирующий, характер, строился на своей собственной метафизической парадигме, которая в учении Демокрита уже отличалась от монистической парадигмы Платона. Из диалектической она стала *дуалистической парадигмой, опирающейся на две метафизические категории: атомов (частиц) и пустого пространства (и времени)*. Однако эти две категории физики соответствовали двум сторонам единого первоначала (диалектической) методологической парадигмы: атомы можно было трактовать как бытие, а пустое пространство — как его диалектическую противоположность, т. е. небытие.

Рассмотрим некоторые этапы в развитии метафизики материального (физического) мира.

Начало материалистической ветви философии было заложено основателем милетской школы **Фалесом (VI в. до н. э.)**, утверждавшим, что вода является материальной основой всех вещей и своего рода первичной субстанцией. Видимо, эти взгляды были навеяны метеорологическими наблюдениями, свидетельствующими о том, что вода может находиться в трех агрегатных состояниях. Как подчеркивал Ницше, в учении Фалеса нашли свое отражение три философские идеи. Во-первых, это идея о материальной основе всех вещей, во-вторых, это требование рационального подхода без ссылок на мифы и, в-третьих, убеждение в возможности понять мир, исходя из единого исходного принципа.

Анаксимандр (ок. 610–546 гг. до н. э.), ученик Фалеса, обобщил взгляды своего учителя, отвергнув мысль о воде или о какой-либо иной известной субстанции как первоматерии. Он полагал, что таковой является некая абстрактная, бесконечная, неизменная, вечная и заполняющая весь мир субстанция. Его философия была дуалистиче-

ской, основанной на антитезе: бытие и становление, где первоматерия олицетворяла бытие, а известные виды субстанции проявлялись через процесс становления из первоматерии.

Анаксимен (VI в. до н. э.), ученик Анаксимандра, в какой-то степени сделал шаг назад, вернувшись к мысли связать первоматерию с известной субстанцией, и предложил считать в качестве таковой воздух. Именно ему принадлежит идея о превращениях первоматерии (воздуха) посредством сгущения и разрежения.

В учении Гераклита (540–480 гг. до н. э.) была предпринята попытка представить первоматерию в виде чего-то осязаемого и вложить в нее при этом нечто большее. В качестве первоматерии предлагалось считать огонь, который одновременно выступал и как движущая сила всего сущего. Первооснова мира понималась Гераклитом как всеобщая борьба между противоположностями, составляющими единое целое.

Один из создателей квантовой теории и современного физического видения мира В. Гейзенберг писал: «Мы теперь можем сказать, что современная физика в некотором смысле близко следует учению Гераклита. Если заменить слово «огонь» словом «энергия», то почти в точности высказывания Гераклита можно считать высказываниями современной науки. Фактически энергия – это то, из чего созданы все элементарные частицы, все атомы, а потому и вообще все вещи. Одновременно энергия является движущим началом. Энергия есть субстанция, ее общее количество не меняется, и, как можно видеть во многих атомных экспериментах, элементарные частицы создаются из этой субстанции. Энергия может превращаться в движение, в теплоту, свет и электрическое напряжение. Энергию можно считать первоначиной всех изменений в мире» [44, с. 30].

Далее следует назвать **Парменида** (конец VI–V вв. до н. э.), который вернул на некоторое время в греческую философию понятие «единого», но высказывался против идеи становления и уничтожения и отрицал существование пустого пространства как такового.

Эмпедокл (490–430 гг. до н. э.) использовал прием, который впоследствии будет многократно применяться в метафизике и физике: он перешел от монизма к своеобразному плюрализму, предложив рассматривать в качестве первоэлементов не один, а четыре элемента: землю, воду, воздух и огонь. Таким образом он смог избежать многих трудностей предшествующих учений и добиться некоего компромисса. Позже этот прием найдет свое место в метафизике Аристотеля, который ввел 10 ключевых категорий, т. е. больше, чем у его предшественников. В новой физике аналогичным образом поступил И. Ньюton, переходя от монистического учения Декарта к механике с самостоятельными категориями пространства, тел и сил.

Так, со времен античности одна из центральных проблем существо-знания связана с поиском единого первоэлемента, лежащего в основе мироздания, или некоторого множества элементов, составляющих материю мира. Этот же комплекс вопросов встал перед атомистами после открытия периодической таблицы Менделеева, включавшей множество элементов, и оставался актуальным в прошлом веке.

Примечательно, что превращения и эволюцию мира Эмпедокл описывал с помощью своеобразного прообраза сил притяжения и отталкивания, каковыми у него были (духовные) понятия любви и вражды.

Анаксагор (500–428 гг. до н. э.), современник Эмпедокла, исчерпал оставшуюся возможность в решении этой проблемы: он отказался от идеи построения учения на основе одного или нескольких (четырех) первоэлементов, допустив, что первоэлементов («семян» в его понимании) бесконечно много и все видимые субстанции содержат их в себе в различных пропорциях.

Отметим, что Анаксагор предпочел рациональный подход духовному и заменил понятия любви и вражды, объединяющих или разделяющих первоэлементы у Эмпедокла, на понятие «нуса», которое может быть переведено как «ум».

Понятие материального атома было введено в учениях **Левкиппа** (V в. до н. э.) и **Демокрита** (460–380 гг. до н. э.), сформировавших качественно иное, по сравнению со школами Пифагора и Платона, мировоззрение. По свидетельству Диогена, Платон до такой степени был не согласен с учением Демокрита, что высказывал намерение сжечь все его труды.

Атомистическое учение Демокрита, предназначеннное для описания явлений физического мира, существенно возвысило роль физики в градации дисциплин.

Физическая парадигма учения Демокрита является *дуалистической*: две полярные стороны методологической монистической парадигмы — «бытие» и «небытие» — заменены у него понятиями атомов и разделяющей их пустоты. По-видимому, на Демокрита самым существенным образом повлияли парадоксы Зенона и он попытался решить вопрос о возможности движения, введя в физический мир иную, чем у школы Пифагора, предпосылку: существует не только бытие, но и небытие.

Демокрит переработал пифагорейское понятие единицы (монады), имевшее расплывчатый характер, превратив его в атом — мельчайшую материальную частицу, обладающую очень малым, но конечным размером. Таким образом была выделена метафизическая категория частич, получившая право на существование в физике лишь в XX в. после известных экспериментов Резерфорда. Одновременно с этим отрыв пустоты от материи означал определение пространства как второй самостоятельной метафизической категории.

С введением атомов встал вопрос об их сплении (взаимодействии) и об образовании из них протяженных тел, обсуждения и варианты решения которого пронизывают всю дальнейшую историю физики.

1.2.4. Метафизика в учении Аристотеля

Аристотель (384–322 гг. до н. э.)., по праву считающийся создателем систематической науки о природе (физики), поставил во главу угла понятие движения, а не «статические связи и отношения», которые изучаются математикой. Известная картина Рафаэля «Афинская школа», где изображены Платон, указывающий перстом на небо, и Аристотель, простирающий руку к земле, отражает суть расхождения их учений. Перейдем к изложению основных положений метафизики Аристотеля.

1. В системе Аристотеля была иная, нежели у Платона, иерархия дисциплин. На первом месте, как и у Платона, была философия, но на второе место он ставил физику, причем «Метафизика» [1] писалась Аристотелем параллельно с его «Физикой» для обоснования последней. Математика же у него занимала подчиненное, производное от физики, третье место, поэтому математические объекты не получили самостоятельного статуса в мире высших идей, как у Платона, а являются лишь отражениями соответствующих свойств физических тел. «Геометр, — писал Аристотель, — помещает отдельно то, что в отдельности не дано». У него числа характеризовали не непосредственно объекты материального мира, как у Пифагора и Платона, а лишь отношения между ними. В соответствии с этим в качестве единицы могли выступать разные объекты, в зависимости от того, с чем производилось сравнение. У Аристотеля уже материальный мир не являлся тенью мира идей, как это было у Платона.

Можно утверждать, что учение Аристотеля также опирается на дуалистическую философско-религиозную парадигму, однако у него имеются существенные отличия от системы Платона в парадигмах обеих составных частей: идеального и материального начал.

2. В методологической части учения Аристотеля первой и важнейшей является отсутствовавшая у Платона «категория сущности», которая фактически представляет собой третью сторону бытия (первоосновы мира), превращая его философию из двуединой (диалектической), каковой была философия Платона, в триединую.

Аристотель утверждал, что действительное бытие предмета не может быть выражено одновременной реализацией двух противоположностей, т. е. платоновские противоположности нужно опосредовать чем-то третьим. Для решения этого вопроса он ввел два вида бытия — действительное и возможное. Противоположные стороны (как в учении

Платона) присущи предмету только как потенциальные возможности, тогда как действительность стоит выше возможности и не имеет ее двух сторон. Это напоминает введение третьего, промежуточного звена между *инь* и *ян* в китайской «Книге перемен».

Аристотель отказался от платоновского метода доказательств «по кругу», когда противоположные начала определяются друг через друга. Он настаивал на том, что не все в науке может быть доказуемым. Должны быть первые, исходные начала, которые не доказываются, а принимаются непосредственно. Аксиоматический метод рассуждений, соответствующий взглядам Аристотеля, а не Платона, был применен Евклидом для построения геометрии и является общепринятым до наших дней.

Триединая философия Аристотеля была нацелена на определение движения тел в физическом мире. В соответствии со своей методологической парадигмой, Аристотель определяет движение как «средний термин», т. е. как «переход» от возможности к действительности. У него движение нормировано двумя противоположностями в возможности — началом и концом — и всегда идет «от» — «к», представляя собой нечто третье — действительность, связывающую две стороны противоположности. Так Аристотель преодолел неразрешимую для Платона проблему определения движения лишь на основе двух противоположных сторон.

Отметим, что аристотелевские два рода бытия — в возможности и в действительности — оказались востребованными в теоретической физике XX в. при формулировке квантовой механики, на что обращал внимание один из ее создателей — В. Гейзенберг.

3. В наиболее концентрированном виде космология Аристотеля выглядит следующим образом. Мир вечен, т. е. не имеет ни начала, ни конца во времени. (Удивительно, что этот тезис, противоречащий представлениям христианства, позволил существовать системе Аристотеля с доктриной Церкви на протяжении многих веков.) В пространственном смысле космос конечен. В центре мира расположена Земля, вокруг которой вращается Небо со всеми его светилами. Все тяжелые тела стремятся к покоящемуся центру Земли; к Небу же, напротив, устремляются более легкие по своей природе стихии.

Небесные тела совершают (естественное) вечное круговое движение, определяемое тем центром, вокруг которого, стремясь уподобиться его неподвижности, они совершают равномерное вращение. Из-за конечности космоса только круговое движение может быть непрерывным и продолжаться бесконечно: бесконечная прямая линия в конечном космосе невозможна. «Именно круговое движение, — пишет Аристотель, является единым и непрерывным, а не движение по прямой, так как по прямой определены и начало, и конец, и середина, (...) так что

есть место, откуда может начаться движение и где окончиться.(...) В круговом же движении ничто не определено: почему та или иная точка будет границей на круговой линии? Ведь каждая точка одинаково и начало, и середина, и конец.(...) Поэтому шар движется и в известном отношении покойится, так как он всегда занимает то же место. Причиной служит то, что все это вытекает из свойств центра: он является и началом, и серединой, и концом всей величины, так что вследствие его расположения вне окружности негде движущемуся телу успокоиться, как вполне пропедешму; оно все время движется вокруг середины, а ис к определенному концу. А вследствие этого целое всегда пребывает в известного рода покое и в то же время непрерывно движется» [1, Физика, VIII, 265a-265b].

1.2.5. Характерные черты физики Аристотеля

Аристотель не смог описать физику только на основе трех сторон единой сущности, и ему попадалось ввести ряд дополнительных категорий, оказавшихся впоследствии уязвимыми. Остановимся лишь на некоторых характерных чертах его физики, сопоставив их с тремя ключевыми физическими категориями XX в.

1. Аристотель отрицал существование пустоты, не допускал понимания места как пустого промежутка между телами, как это делали атомисты. Он считал, что место всегда заполнено какой-то средой, например воздухом. Всякое перемещение Аристотель понимал как обмен местами, занимаемыми телом и средой, аналогично тому, как это происходит в воде при движении рыбы. В этом вопросе его взгляды близки платоновским. С позиции сегодняшнего дня это не что иное, как субстанциальный подход к природе пространства.

2. Для определения движения необходимо понятие времени. Аристотель, подчеркивая трудности в определении этого понятия, резко возражал против его определения через вращения мира или небесных сфер, как это пытались делать до него, но тем не менее тесно связывал понятие времени с движением.

3. Аристотель считал, что все материальные сущности в подлунном мире состоят из четырех элементов: земли, воды, воздуха и огня. Надлунный мир построен из пятого элемента — эфира, который значительно тоньше всех подлунных стихий и потому служит материей небесных тел.

4. Аристотель не признавал самодвижения, полагая, что для всякого (неестественного) движения должен быть двигатель. Для брошенного тела таким двигателем, как он считал, является среда. Согласно Аристотелю, человек, бросающий предмет, приводит в движение не только его,

но и среду, в которой предмет находится. Оторвавшись от руки, предмет продолжает движение под действием непосредственно соприкасающейся с ним среды.

5. Понятие естественности места означает наделение тел и мест некоторыми динамическими свойствами. У Платона материя лишена динамических свойств; у Аристотеля она динамична и обладает способностью к изменению, место также динамично и обладает некой силой, заставляя перемещаться объекты в «естественные» для них места, например огонь — вверх, а весомые тела — вниз.

Впоследствии мысль о динамических свойствах места (пространства-времени) окажется воплощенной в общей теории относительности.

6. Аристотель различал четыре вида движения: *в отношении сущности* — возникновение и уничтожение; *в отношении количества* — рост и уменьшение; *в отношении качества* — качественные изменения; *в отношении места* — перемещение. Полагалось, что ни один из этих видов движения не может быть сведен к другому.

В XX в. различные аристотелевские виды движения проявились при построении квантовой теории. Так, свободные перемещения микрочастиц в пространстве (в отношении места) описываются первично квантованной теорией, тогда как другие виды движения (сущности, качества и количества) описываются вторично квантованной теорией поля.

7. Система физических (метафизических) представлений Аристотеля просуществовала (не без некоторых изменений и уточнений) почти два тысячелетия — с IV в. до н. э. до XVI в. Если отвлечься от философии, то это можно объяснить ее соответствием «здравому смыслу» естественнонаучных представлений античности и средневековья. Многочисленные разграничения и барьеры, увековеченные системой Аристотеля, выглядели естественными и не вызывающими сомнений. Позовем главные из них.

- 1) Был установлен жесткий водораздел между небесным и земным, надлунным и подлунным мирами. При этом надлунный мир был воплощением вечного порядка и неизменных движений, а подлунный отличался непостоянством и изменчивостью.
- 2) Природа — фюзис — мыслилась через противопоставление ее не-природному, искусственно-му, тому, что носило название «техне» и было продуктом человеческих рук. В частности, механика не признавалась наукой, а рассматривалась как особый род механического искусства, занимающегося созданием инструментов и механизмов, которых нет в природе.
- 3) Постулировалось два вида движения: естественное (круговое), вечное, не требующее каких-либо источников, и насиленное, совершающее вследствие каких-либо причин (двигателями).

- 4) Выделялось пять видов стихий, составляющих сущности как подлунного, так и надлунного миров.
- 5) Определялось четыре вида причин: формальная, целевая, действующая и материальная. Задача физики сводилась к тому, чтобы дать ответ на вопрос «почему?», указав на одну из названных четырех причин (или их комбинацию).

1.3. Преодоление «здравого смысла» античности

В переходный период от античности к новому времени, отстоящему от нее на полтора тысячелетия, произошли чрезвычайно серьезные изменения в философско-религиозной сфере. Дуалистическая парадигма античности, опирающаяся на идеальное и материальное начало, претерпела существенные изменения: идеальное начало в ней уступило место началу духовному. Это вызвало глубокие изменения в сознании — необходимо было сопрячь в новой философско-религиозной парадигме отдельные метафизические парадигмы духовного и материального начал. Этот процесс растянулся на несколько веков и потребовал огромных усилий.

Но одновременно шел и другой процесс. Поскольку более ранние античные учения достигли больших успехов в объяснении явлений материального мира, необходимо было как-то согласовать их с новым мировоззрением. В результате острых дискуссий, где обсуждался вопрос о приоритете идеального (разумного) или духовного начал, был найден некий компромиссный вариант: учение «язычника» Аристотеля было совмещено с христианской парадигмой и канонизировано западной христианской Церковью, несмотря на ряд расхождений в них. Возможность такого компромисса можно объяснить, во-первых, тем, что дуалистическая структура (парадигма) христианского учения (Бог и тварный мир) соответствовала аристотелевскому разделению мира на «надлунный» и «подлунный», а во-вторых, тем, что триединый характер философии Аристотеля, если ее отнести к «надлунному» (божественному) миру, фактически был созвучен христианскому догмату Святой Троицы. Язычество же Аристотеля, проявлявшееся в его понимании подлунного мира со множеством категорий и разграничений, не беспокоило Церковь.

Заметим, что в течение полутора тысяч лет неоднократно ставился вопрос: какое учение античности Платона или Аристотеля — ближе христианской идеологии? У Платона, как и в христианстве, приоритет отдавался «горнему» миру (миру высшей реальности), но использовалась диалектика, тогда как аристотелевская триединая философия соответствовала догмату Святой Троицы, но отличалась другим соот-

ношением материального и высшего миров. Аристотелево учение с единствоством методологической парадигмы одержало верх. Соотношение высшего и низшего миров оказалось менее важным.

Параллельно заметим, что именно увязка естественнонаучных понятий (категорий) с философско-религиозными представлениями о «высших» и «низших» мирах была наиболее уязвимой: начиная с XV в., открытия в естествознании стали весомо свидетельствовать о единстве закономерностей в «надлунном» и «подлунном» мирах, что заставило пересмотреть положения аристотелевского учения.

I. Переход от средневековой к новоевропейской философии был ознаменован деятельностью **Николая Кузанского (1401–1464)** [88], который, стремясь преодолеть два начала в диалектике Платона (неоплатоников), выдвинул философскую формулу «тождества противоположностей», из которой следовало, что «единому ничто не противоположно», т. е. «единое есть все». Философско-религиозная метафизическая парадигма, в полной мере отвечающая этой формуле, может быть лишь монистической, т. е. мир высшей реальности из учений античности должен быть отождествлен с материальным (дольним) миром. Так возникло пантегистическое учение, получившее дальнейшее развитие у Джордано Бруно. Очевидно, что этот подход противоречил традиционной средневековой христианской теологии, которая исходила из принципиальной идеи различия творения и Творца.

Пантегистические идеи Кузанского привели к необычным для того времени выводам. Поскольку единое (из учения античности) отождествлялось с беспредельным, то само становилось бесконечным, т. е. материальная вселенная полагалась бесконечной, а, следовательно, в ней не должно быть ни начала, ни центра, ни конца. Этим выводом фактически были созданы философские предпосылки для великих открытий в астрономии и в физике, которые будут сделаны Николаем Коперником.

II. Вплоть до средних веков естественнонаучные представления о мире опирались на геометрию Евклида, астрономическую систему Птолемея и физику Аристотеля. Как известно, астрономическая система Птолемея, соответствовавшая космологии Аристотеля, описывала вращения небесных тел вокруг единого центра — Земли — по круговым орбитам (циклам). Поскольку круговые орбиты не соответствовали реальным наблюдениям, они подправлялись дополнительными круговыми орбитами — эпициклами — до получения соответствия с астрономическими наблюдениями.

Взамен геоцентрической системы Птолемея **Николай Коперник (1473–1543)** выдвинул идею гелиоцентрической системы мира. В «Малом комментарии относительно установленных гипотез о небесных движениях» Коперник сформулировал семь постулатов с целью «найти ка-

кое-нибудь более рациональное сочетание кругов, которым можно было бы объяснить все видимые неравномерности» в движении небесных тел, объясняемые тогда с помощью системы эпициклов.

Среди постулатов Коперника были утверждения, согласно которым Земля является центром лишь лунной орбиты, а Солнце — центром земной орбиты и орбит других планет, центр же мира находится возле Солнца. Однако в них сохранялись представления о небесной тверди (границе мира), причем указывалось, что расстояние от Солнца до нее значительно больше расстояния от Земли до Солнца. Постулаты Коперника оказались в опишащем противоречии не только с астрономической системой Птолемея, но и со всей системой физики Аристотеля.

Во-первых, система Коперника противоречила античному *разделению мира на «надлунную» и «подлунную» части*. Земля с ее подлунным миром оказывалась в одном ряду с другими планетами «надлунного» мира.

Во-вторых, ставилось под сомнение аристотелевское *разделение на естественное и насильственное движение*.

В-третьих, подвергались сомнению аристотелевские *представления о пяти стихиях, в частности о выделении эфирной стихии*. По Аристотелю, круговые, т. е. естественные, движения совершают только небесные тела, являющиеся эфирными. Нельзя же было допустить эфирную природу Земли. Она, по определению, состоит из других четырех стихий.

В-четвертых, система мира Коперника разрушила аристотелевское (античное) *разграничение понятий абсолютного покоя (естественного состояния) и движения*, что явилось чрезвычайно важным обстоятельством для дальнейшего развития физики. По сути дела, учением Коперника были заложены предпосылки для будущей теории относительности в физике. Как известно, Галилей, являвшийся автором одноименного принципа относительности в механике Ньютона, существенно опирался на труды Коперника.

На противопоставление геоцентрической системы мира Аристотеля—Птолемея и гелиоцентрической системы Коперника можно смотреть как на выбор одной из двух (инерциальных) систем отсчета, связанных с Землей и с Солнцем. Современная физика допускает использование как этих, так и множества других систем отсчета. Описания всех явлений сейчас можно пересчитать из одной системы отсчета в другую. Но во времена Коперника, во-первых, не было теории систем отсчета и, во-вторых, речь шла о соотношении земной и *небесной системы отсчета*, связанной с Солнцем.

Система мира Коперника ставила под удар и ряд других положений в физике Аристотеля. Все это требовало пересмотра и самой философии (метафизики) Аристотеля, точнее, внесения корректиров в систему

категорий материального мира. Но к пересмотру философской системы Коперник был еще не готов. В своем труде он пытался примирить сформулированные аксиомы с положениями системы Аристотеля, но предложенные доводы выглядели искусственными и неубедительными для современников. Это одна из причин, обусловившая неприятие гелиоцентрической системы Коперника большинством ученых, в том числе и таким выдающимся, каким был, например, Тихо Браге.

Любопытную трактовку этого известного факта предложил выдающийся ученый-прикладник Б. В. Раушенбах: «Большинство ученых европейских, не протестантов в том числе, считали, что гелиоцентрическая система — бред и ерунда, что этого не может быть. И они основывались на очень правильном положении, на том, что практика — критерий истины. Когда сравнивали результаты расчетов движения светил по Птолемею и по Копернику, то у Коперника ошибки в два-три раза больше по величине. Поэтому ученые провозгласили: практика — критерий истины, мы идем за практикой, т. е. за Птолемеем, а Коперник — очень красивая математическая система, не имеющая отношения к делу».

Как мы сейчас понимаем, по Копернику, планеты движутся по кругам, а на самом деле, как показал Кеплер, они движутся по эллипсам. Как только Кеплер объявил, что небесные тела движутся по эллипсам, дал соответствующие формулы, выражения, все перешли на его систему расчетов. Ученым ведь все равно, важно, чтобы хорошо получалось. Астрономия была тогда наука практическая, на ней зиждалась астрология, все требовали гороскопы — князья, богатые и даже небогатые люди, и сам Кеплер составлял гороскопы для очень крупных заказчиков, это было в те времена принято. Для подобной работы, конечно, надо было знать движение светил, это было практически нужным делом, и пока Птолемей был точнее гелиоцентрической системы, пользовались его методом, а когда стала точнее гелиоцентрическая, стали пользоваться ею» [138].

Философские взгляды Николая Кузанского и естественнонаучные идеи Николая Коперника были объединены в системе представлений **Джордано Бруно (1548–1600)**.

III. Переход от физики и философии Аристотеля к новой физике и философии обеспечили труды целой плеяды ученых эпохи Возрождения и Нового времени: Леонардо да Винчи (1452–1519), Иоганна Кеплера (1571–1630), Галилео Галилея (1564–1642) и других. Среди них особое место принадлежит Галилею, которому удалось устранить целый ряд заблуждений в естественнонаучных представлениях античного мира и, в частности, в учении Аристотеля. Так, он показал важность эксперимента в физике, снял принципиальное различие

между физикой (наукой) и механикой (искусством — по Аристотелю), способствовал более тесному сближению математики и физики.

Рассмотрим вклад Галилея в формирование трех ключевых физических категорий и связанных с ними понятий.

Галилей сделал чрезвычайно важный шаг в формировании понятия *материи*, показав, что она может быть описана математическими средствами: «Так как я предполагаю, что материя неизменяема, т. е. постоянно остается одинаковой, то ясно, что такое вечное и необходимое свойство может быть основой для чисто математических рассуждений» (цит. по [41, с. 103]).

Важное значение для механики имело опровержение Галилеем аристотелевского положения о принципиальном различии между состояниями покоя и равномерного прямолинейного движения материальных тел. Напомним, что в физике Аристотеля движение имеет абсолютный характер относительно, как сейчас следует сказать, единой мировой системы отсчета, в которой раз и навсегда установлено, что такое «верх», «низ» и «естественное» положение объекта. У Галилея же положение тел детерминировано относительно других окружающих тел, так же определяется и движение. Можно утверждать, что Галилей вплотную подошел к открытию закона инерции.

Примечательны представления Галилея о причинах, связывающих отдельные частицы в тело. Так, в «Беседах о математических доказательствах» приводятся такие рассуждения: «По моему мнению, связность может быть сведена к двум основаниям: одно это пресловутая боязнь пустоты у природы; в качестве другого (не считая достаточной боязни пустоты) приходится допустить что-либо связующее, вроде клея, что плотно соединяет частицы, из которых составлено тело. (...) Так как каждое действие должно иметь только одну истинную и ясную причину, я же не нахожу другого связующего средства, то не удовлетвориться ли нам одной действующей причиной — пустотою, признав ее достаточной?» [41, с. 66]. Из данного высказывания видно, что Галилей был настолько далек от признания новой физической категории силы (поля переносчика взаимодействий), что из двух названных возможностей выбрал аристотелевский принцип «природа боится пустоты». Видимо, исходя из стремления опереться на меньшее число понятий, Галилей попытался описать взаимодействия, ограничившись понятиями пространства, заполненного материей, и пустоты.

Отметим также его подход к процедуре составления конечного тела из бесконечного множества неделимых частей, не имеющих размера. Здесь Галилей определяет понятие размера из суммирования бесконечного числа точечных объектов, т. е. выводит конечность из своей противоположности — бесконечности. На этот недостаток в представле-

ниях ученого обращали внимание многие исследователи его научного наследия.

1.4. Метафизические парадигмы XVII в.

В метафизике физики XVII в. следует выделить четыре основные школы: Р. Декарта, Г. Лейбница, Х. Гюйгенса и И. Ньютона, положившие начало исследованиям в рамках четырех различных метафизических парадигм (разных видов «метафизики»): монистической (Декарта), двух дуалистических (Лейбница и Гюйгенса) и триалистической (Ньютона). Три первые соответствуют представленным во Введение трем миропониманиям: метафизика Декарта — геометрическому миропониманию, дуалистическая метафизика Г. Лейбница — реляционному миропониманию, тогда как метафизика Х. Гюйгенса заложила основы теоретико-полевого миропонимания. Метафизика же Ньютона построена на триалистической парадигме, впитавшей в себя достижения трех других физических школ XVII в.

1.4.1. Природа как протяженная субстанция (по Декарту)

Рене Декарт (1596–1650) сформулировал в рамках механистических представлений целостную монистическую систему естествознания, опирающуюся на одну категорию, отчасти соответствующую монотеизму христианского духовного начала. Центральным положением натурфилософии Декарта является произведенное им отождествление материи и пространства. «Пространство или внутреннее место, — пишет он в «Началах философии», — (...) разнится от телесной субстанции, заключенной в этом пространстве, лишь в нашем мышлении. И действительно, протяжение в длину, ширину и глубину, составляющее пространство, составляет и тело. (...) Рассматривая (...) камень, мы обнаружим, что истинная идея, какую мы о нем имеем, состоит в одном том, что мы отчетливо видим в нем субстанцию, протяженную в длину, ширину и глубину; то же самое содержится и в нашей идее о пространстве, причем не только о пространстве, заполненном телами, но и о пространстве, которое именуется „пустым“» [41, с. 124].

Рассмотрим, как выглядели в учении Декарта три метафизические категории XX в.

Пачиная с Декарта, *материя* из бесформенного субстрата стала телом. Это был существенный вклад в формирование категории частиц, хотя материя по-прежнему отождествлялась у него с пространством и природой. «Под природой, — писал Декарт, — я отнюдь не подразумеваю какой-нибудь богини или какой-нибудь другой воображаемой

силы, а пользуясь этим словом для обозначения самой материи» [41, с. 126–128].

Декарт фактически сформулировал закон инерции (первый закон Ньютона): «Всякая вещь (...) продолжает по возможности пребывать в одном и том же состоянии и изменяет его не иначе, как от встречи с другими. Отсюда должно заключить, что тело, раз начав двигаться, продолжает это движение и никогда сама собою не останавливается» [41, с. 129].

Однако у Декарта остались еще рудименты старых представлений о различии состояний покоя и движения тел. Это видно из того, что он считал необходимым с помощью своего второго закона природы (о прямолинейности движения по инерции) ввести специальные гарантии такого движения: «Причина этого закона та же, что и предыдущего. Она заключается в том, что Бог незыблем и что он простейшим действием сохраняет движение материи: Он сохраняет его точно таким, каково оно в данный момент, безотносительно к тому, каким оно могло быть несколько ранее» [41, с. 129].

Декарт ввел две пространственные субстанции: материальную и духовную. Первая из них являлась протяженной, т. е. той, которую, собственно говоря, и принято понимать как тело. Но у него была и вторая субстанция — духовная, которая ответственна за перемещение первой субстанции — тел. Таким образом, у Декарта, как и у Галилея, нет отдельной категории силы как прообраза категории полей-переносчиков взаимодействий. Все физические понятия: пространства, тела и причины изменения положения тел — Декарт пытался объяснить при помощи лишь одной категории, однако разделенной на две части.

Декарт понимал математику как сугубо интеллектуальную дисциплину, лишившую какой-либо самостоятельной реальности, и превыше всего он ценил алгебру, которой он стремился уподобить арифметику и геометрию.

Монистическая программа Декарта оказала большое влияние на последующее развитие физики, в частности именно в ее русле была создана общая теория относительности. Альберт Эйнштейн, анализируя доводы и взгляды Декарта, пришел к выводу, что «общая теория относительности подтверждает все же концепцию Декарта, хотя и другим путем. Декарта привело к его удивительно привлекательной точке зрения сознание того, что без настоящей необходимости не следует приписывать реальность вещам, подобным пространству, которые не допускают „прямой проверки на опыте“» [203, с. 745].

1.4.2. Метафизика Лейбница

Философия Готфрида Вильгельма Лейбница (1646–1716), представляющая собой своеобразный синтез идей античности, главным образом системы Аристотеля и естественнонаучных представлений его времени, сформировалась в полемике с позицией Р. Декарта и его современника И. Ньютона. В отличие от них, Лейбниц описывал физическую реальность на основе двух категорий (начал), из которых одна является своеобразным объединением категорий частиц (материи) и пространства-времени (пространства и времени), а другая — объединением категорий частиц с категорией полей переносчиков взаимодействий. В XX в. этой парадигме будет соответствовать теория прямого межчастичного взаимодействия Фоккера—Фейнмана.

Рассмотрим ключевые физические категории в системе взглядов Лейбница.

Материя (тела, вещи), согласно метафизическим представлениям Лейбниза, имеет двойственную природу: *пассивную* и *активную*. Пассивная природа может быть соотнесена с обобщенной категорией, объединяющей частицы и пространство (и время), а активная природа с обобщенной категорией, объединяющей частицы и поля переносчиков взаимодействий.

О пассивной природе материи Лейбниц писал: «Материя, взятая в себе, т. е. голая, образуется через антитипию и протяженность. Антитипией я называю тот атрибут, через который материя находится в пространстве, т. е. непрерывное распространение по месту. И вот, когда антитипия непрерывно расходится или растягивается по месту и ничего другого не предполагается, возникает материя сама по себе, или голая. Модификация протяженности состоит в изменяемости величины и фигуры. Отсюда очевидно, что материя есть нечто чисто пассивное, ибо ее атрибуты и их видоизменения не содержат в себе никакого действия. И поскольку в движении мы рассматриваем только перемену места, мы не усматриваем в нем ничего, кроме чисто пассивного» [97, с. 383].

Пространство и время Лейбница не считал самостоятельными категориями, не зависящими от материи, как это было у Ньютона. Он полагал, что без тел не было бы и пространства, и времени. Его понимание их сущности отражено в полемике с С. Кларком: «...Ссылаются на пример, который встречается как раз в одном из моих доказательств против реального абсолютного пространства, этого идола некоторых современных англичан (здесь, в частности, подразумевается И. Ньютон, — Ю. В.). Я говорю здесь об идоле не в богословском, а в философском смысле. (...) Я неоднократно подчеркивал, что считаю пространство,

так же как и время, чисто относительным: пространство — *порядком сосуществования*, а время *порядком последовательностей*. (...) Для опровержения мнения тех, которые считают пространство субстанцией или по крайней мере какой-то абсолютной сущностью, у меня имеется несколько доказательств» [97, с. 441]. Не будем здесь останавливаться на любопытных доводах Лейбница, которые несут на себе печать той эпохи. В другом месте он писал на эту же тему: «Г-н Ньютон кроме материи допускает пустое пространство, и, по его мнению, материя занимает лишь малую часть пространства. Однако Демокрит и Эпикур утверждали то же самое, немногим отличаясь при этом от г-на Ньютона, и, по их мнению, пожалуй, материи в мире больше, чем по Ньютону. (...) Наряду с другими соображениями я придерживаюсь того мнения, что пустого совсем нет» [97, с. 434].

В связи с пониманием Лейбницем сути пространства следует сказать и о его отношении к геометрии, особенно к аксиоматике геометрии. Он не был удовлетворен аксиоматикой Евклида, считая сформулированные им аксиомы вторичными из-за того, что они опираются не только на разум, но и на воображение: «Я давно уже заявлял, что было бы важно доказать все наши вторичные аксиомы, которыми обычно пользуются, сведя их к первичным, или непосредственным, и недоказуемым аксиомам, представляющим то, что я (...) назвал *тождественными положениями*. (...) Я убежден, что для усовершенствования наук даже необходимо доказывать некоторые предложения, называемые аксиомами» (цит. по [41, с. 265]).

Особо следует выделить отношение Лейбница к пятому постулату Евклида о параллельных линиях: «Евклид отнес к числу аксиом положение, что две прямые могут пересечься лишь один раз. Воображение, опирающееся на чувственный опыт, не позволяет нам представить более одного пересечения двух прямых; но не на этом следует строить науку, и если кто-нибудь думает, что воображение дает связь отчетливых идей, то это показывает, что он недостаточно осведомлен относительно источника истин, и множество предложений, доказываемых посредством других, предшествующих им предложений, должны им считаться непосредственными» [41, с. 265]. Эти слова оказались пророческими. Спустя сто с лишним лет Б. Риманом была открыта сферическая геометрия (геометрия постоянной положительной кривизны), в которой две кратчайшие линии обязательно пересекаются дважды.

Взаимодействия (активная природа материи). Как писал Лейбниц, «необходимо допустить нечто помимо материи, что было бы началом как восприятия, т. е. действия внутреннего, так и движения, т. е. действия внешнего. Такое начало мы называем субстанциальным, также первичной силой, первой энтелехией, одним словом, душой (*anima*). Это начало, будучи активным, в сочетании с пассивным составляет

полную субстанцию. Очевидно, что оно начало непротяженное, иначе оно содержало бы в себе материальность против нашего предположения, ибо мы показали, что оно представляет собой нечто привходящее в дополнение к материи. Итак, душа — это нечто субстанциальное и простое, не имеющее частей, внеположенных одна другой» [97, с. 384].

Лейбниц полагал, что две природы материи всегда присутствуют слитно: «... души в отдельности от тел в природе не существуют; так как они — первоначальные энтелекии, т. е. чисто активны, то нуждаются в некотором пассивном начале, которое бы их дополнило» [97, с. 385].

Второе (активное) начало в естественнонаучной картине мира Лейбница играло чрезвычайно важную роль: «Хотя тяжесть и сила упругости могут и должны объясняться из движения эфира, однако последняя причина (*ratio*) движения материи есть сила, приданная ей при самом ее создании, которая присуща каждому телу, но ограничивается и сдерживается в природе самыми разнообразными столкновениями тел между собой. И я утверждаю, что эта способность действовать присуща всякой субстанции и из нее всегда порождается какое-то движенис» (цит. по [41, с. 246]).

Важным моментом в философии Лейбница является его трактовка понятий (самых категорий) в духе редукционизма, т. е. через некоторые конструкции, составленные из более элементарных понятий. Это, прежде всего, относилось к пониманию Лейбницем геометрии, но в значительной степени и к определению наблюдаемой материи. Здесь можно усмотреть начало так называемого ныне макроскопического подхода к природе классического пространства-времени и всей классической физики. Забегая вперед, заметим, что, с позиций макроскопического подхода, привычные понятия геометрии и физики возникают из наложения огромного числа неких факторов, присущих физике микромира.

Согласно Лейбничу, все тела состоят из монад. Сами же монады, в отличие от тел, обладают свойствами, принципиально отличными от механических. Как пишет Лейбниц, они «*необъяснимы причинами механическими*, т. е. с помощью фигур и движений». Подробный перечень их свойств дан в его «Монадологии» [97].

Учение Лейбница о монадах поднимает множество принципиально важных вопросов, которыеозвучены концептуальным проблемам, обсуждавшимся в XX в. в рамках макроскопического подхода к природе классического пространства-времени: Каковы свойства первичных факторов микромира? Каким образом первичные факторы (монады) складываются? Каким образом из свойств первичных факторов возникают общепринятые понятия классической физики и геометрии? Очевидно, что в рамках естественнонаучных представлений того времени невозможно было ответить на эти вопросы исчерпывающим образом, поэтому рассуждения Лейбница носят порой противоречивый характер, что от-

мечалось многими исследователями его наследия. Например, вызывало недоумение положение о возникновении свойств непрерывности у материальных тел, если образующие их монады составляют дискретное множество. Однако сам факт постановки указанных проблем весьма примечателен.

1.4.3. Натурфилософия Гюйгенса

В фундамент учения Христиана Гюйгенса (1629–1696) была положена другая пара метафизических категорий: пространство (и время) и атомы (частицы), т. е. его взгляды были близки античной концепции атомистов.

В отличие от школы Декарта Гюйгенс не отождествлял материю и пространство. *Материя (частицы)*, по Гюйгенсу, состоит из неразрушимых, бесконечно твердых атомов. В своем письме Лейбницу он следующим образом пояснил свою позицию: «Основание, побудившее меня предположить неразрушимые атомы, состоит в том, что я, как и Вы, господин Лейбниц, не могу согласиться с картезианским принципом, что сущность тел состоит только в протяжении. Для того чтобы тела могли сохранять свою форму и при движении оказывать друг другу сопротивление, я скорее считаю необходимым приписать им непроницаемость и сопротивление любому разделению их частей. Следует допустить, что это сопротивление бесконечно велико» (цит. по [41, с. 191]).

Описание природы света (взаимодействия) в натурфилософии (метафизике) Гюйгенса представляет особый интерес. Говоря о распространении света с чисто атомистических позиций, он считал, что имеются атомы двух сортов. Наряду с более массивными атомами, составляющими тела и другую осязаемую материю, имеются более тонкие атомы, составляющие эфир — среду, заполняющую пространство между телами. Воздействия от атомов тел передаются атомам эфира, колебания которых распространяются от одного тела к другому и воспринимаются глазом человека как световые явления. «Движение, сообщаемое существу (...), распространяется так же, как и при звуке, сферическими движениями и волнами: я называю эти поверхности волнами по сходству с волнами, которые можно наблюдать на воде, в которую брошен камень, и которые изображают собой указанное постепенное распространение кругами, хотя оно и происходит по другой причине и в плоской поверхности» [41, с. 197]. Как отмечалось во Введении, такой подход соответствует именно теоретико-полевому мироопониманию.

В отличие от Ньютона Гюйгенс не признавал абсолютное пространство, а считал его чисто относительным. Это его убеждение опиралось на представление о бесконечном пространстве, что, по его мнению, противоречило допущению о его абсолютности: «В бесконечном пространстве ни о каком теле нельзя сказать, что оно движется или что оно

покоится. Итак, движение и покой только относительны» [41, с. 194]. Он не признавал ньютоновской концепции дальнодействия, воплощенной в законе всемирного тяготения.

Натурфилософия Гюйгенса опиралась на прочный фундамент его физических разработок, главным образом, на его теоретические исследования процессов соударения твердых тел. Он отмечал, что «Большинство писавших по вопросам, касающимся разных отделов оптики, довольствовались тем, что просто принимали эти истинды заранее. Но некоторые, более любознательные, стремились *выяснить происхождение и причины этих истин*, рассматривая их самих как замечательные проявления природы» [41, с. 196]. Он был убежден, что объяснить «происхождение и причины этих истин» оптики можно только на базе философии. Так в своей книге «Трактат о свете» он писал: «Я постараюсь в этой книге с помощью принципов, принятых в современной философии, дать более ясные и более правдоподобные объяснения, во-первых, свойствам прямо распространяющегося света, во-вторых, свойствам света, отражающегося при встрече с другими телами» [там же, с. 196]. При этом он полагал, что истинная философия это та, «в которой причину всех естественных явлений постигают при помощи соображений механического характера. По моему мнению, так и следует поступать, в противном случае приходится отказаться от всякой надежды когда-либо и что-нибудь понять в физике» [там же, с. 196]. В XVII в. прочно можно было опереться лишь на механику.

1.4.4. «Математические начала натуральной философии»

Знаменитый труд **Исаака Ньютона (1643–1727)**, вышедший в свет в 1687 г. [116], фактически определил развитие физики на протяжении более двух веков. Некоторые даже утверждают, что написание «Математических начал натуральной философии» было обусловлено его стремлением рациональными методами доказать бытие Бога. Во всяком случае, попытка связать науку и религию (теологию) естественна для человека, который был не только великим ученым, но и видным теологом своего времени. Введя понятие абсолютного пространства как «чувствилица Бога», которое связывает все тела мира в единый универсум, Ньютон разрушил невидимый барьер, существовавший между Богом и сотворенным им миром.

В связи с этим следует напомнить высказывание Ньютона о понимании им абсолютного пространства: «Не там ли чувствилице животных, где находится чувствительная субстанция, к которой через нервы и мозг подводятся ощущимые образы предметов так, что они могут быть замечены вследствие непосредственной близости к этой субстанции? И если

эти вещи столь правильно устроены, не становится ли ясным из явлений, что есть бестелесное существо, живое, разумное, всемогущее, которое в бесконечном пространстве, как бы в своем чувствилище, видит все вещи вблизи, прозревает их насквозь и понимает их вполне благодаря их непосредственной близости к нему» [41, с. 233].

Ньютона видел как в пространстве (и времени), так и в силах гравитационного взаимодействия нечто, не укладывающееся в рамки механических (физических) воззрений его времени и, будучи не в состоянии дать ответ на мучавшие его вопросы, склонялся к мистическим религиозным решениям, а на самом деле — к метафизическому решению, объявив пространство (-время) и силы (взаимодействия) самостоятельными категориями. (Эти же вопросы мучили и многих других исследователей на протяжении последующих веков вплоть до наших дней.)

Фактически И. Ньютон повторил ход Эмпедокла, но не в выборе числа первоэлементов материи, а в количестве ключевых физических категорий. Можно сказать, что в естествознании христианский богослов Ньютона сделал шаг назад от христианского монизма Декарта к языческому политеизму. История показала, что для того времени этот шаг оказался чрезвычайно плодотворным.

Исаак Ньютон оторвал категории пространства и времени от категории *материи*, объявив их существование «безотносительно к чему бы то ни было внешнему», однако при этом он фактически удвоил эти категории, признавая эквивалентность относительных пространств, связанных с инерциальными системами отсчетами, но тем не менее настаивая на существовании еще и абсолютного пространства (и времени).

Последнее противоречило взглядам Р. Декарта. С Ньютоном были не согласны Х. Гюйгенс и Г. Лейбниц, резко возражавшие против экспериментально не подтверждаемых абсолютного пространства и абсолютного движения. На поиски движения относительно абсолютного пространства было затрачено много усилий физиков во второй половине XIX в. Как известно, они закончились безрезультатно.

На рубеже XIX и XX вв. ньютонову механику критиковал Эрист Мах, призывая пересмотреть ее основные положения. Тем не менее он считал, что предпринятая Ньютоном «рискованная попытка отнести всю динамику к абсолютному времени (и пространству)» являлась тогда «безвредной». Мах, обращая внимание на то, что «это в течении долгого времени ускользало от серьезной критики» (имелся в виду XIX в.), призывал пересмотреть эти и другие основания ньютоновской механики.

Сила в понимании Ньютона есть то, что изменяет характер прямолинейного равномерного движения материальных тел. Истоки понятия силы можно обнаружить уже в трудах Кеплера и других его предшественников, но как самостоятельное понятие физики оно вошло с трудами Ньютона.

Остановимся на понимании категории силы в связи с гравитационным взаимодействием, наиболее хорошо известным в то время. Ньютон писал: «Я изъяснил небесные явления и приливы наших морей на основании силы тяготения, но я не указывал причины самого тяготения. Эта сила происходит от некоторой причины, которая проникает до центра Солнца и планет без уменьшения своей способности и которая действует не пропорционально величине поверхности частиц, на которые она действует (как это обыкновенно имеет место для механических причин), но пропорционально количеству твердого вещества, причем ее действие распространяется повсюду на огромные расстояния, убывая пропорционально квадратам расстояний. (...) Причину же этих свойств силы тяготения я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотез же я не измышляю» [41, с. 220].

За последней фразой «гипотез же я не измышляю» кроются многолетние рассуждения Ньютона, а также многочисленные упреки в его адрес со стороны современников и потомков. В те времена полагалось, что воздействия одних тел на другие могут быть объяснены механическими соударениями частиц. Сам Ньютон долгое время пытался объяснить тяготение столкновениями с особыми частицами эфира, но ничего хорошего из этого не получилось. В конце концов он пришел к важному метафизическому выводу, что тяготение и другие взаимодействия обусловлены причинами принципиально иной природы. Исаак Ньютон в 1704 г. в «Оптике» писал: «Мельчайшие частицы материи могут сцепляться посредством сильнейших притяжений, составляя большие частицы, но более слабые; многие из них могут также сцепляться и составлять еще большие частицы с еще более слабой силой — и так в ряде последовательностей, пока прогрессия не закончится самыми большими частицами, от которых зависят химические действия и цвета природных тел; при сцеплении таких частиц составляются тела заметной величины. Таким образом, в природе существуют агенты, способные сжимать вместе частицы тел весьма сильными притяжениями. Обязанность экспериментальной философии их разыскать» (цит. по [47, с. 8]).

Только в XX в. были введены предсказанные Ньютоном агенты в связи с рассмотрением четырех видов фундаментальных физических взаимодействий: гравитационного, электромагнитного, слабого и сильного.

С позиций сегодняшнего дня, совершенное Ньютоном следует понимать как введение новой метафизической категории. В те времена она трактовалась как сила. Затем было понято, что для гравитационной и ряда других сил можно ввести понятие потенциала, определенного в каждой точке пространства, а это уже понятие поля переносчиков взаимодействий — самостоятельная категория, о которой говорилось во Введении.

Таким образом, Ньютон построил физику на основе новой для того времени «метафизики», опирающейся на три метафизические категории. «Позднейшие философы, — писал он в 1706 г., — изгнали воззрения о такой причине из натуральной философии, измыслия гипотезы для механического объяснения всех вещей и отнеся другие причины в метафизику. Между тем главная обязанность натуральной философии — делать заключения из явлений, не измыслия гипотез, и выводить причины из действий до тех пор, пока мы не придем к самой первой причине, конечно, не механической» [41, с. 222].

Ньютон был метафизиком, несмотря на приписываемые ему слова: «Физика, бойся метафизики!» «Как религиозный мистик, — справедливо заметил В. Д. Захаров, — он нисколько не боялся метафизики, и только благодаря метафизике его механика имеет и по сей день познавательное значение. Метафизика позволила Ньютону преодолеть прямой феноменологизм как подчинение истине наблюдаемого факта. (...) Очевидно, классическая механика может считаться синтетической наукой только благодаря своим метафизическим основам. Только благодаря им она могла проявить столь потрясающую эффективность — привести к открытию „на кончике пера“ планеты Нептун, к предсказанию появления в 1910 г. кометы Галлея» [64].

1.5. Метафизика XVIII в.

В XVIII в. после достижений выдающихся мыслителей предыдущего века, главным образом Декарта, Лейбница, Гюйгенса и Ньютона, спектр миропониманий был выявлен и возможные в то время отношения к трем ключевым категориям физики были определены. В центре внимания оказались вопросы развития физики в рамках названных парадигм.

1.5.1. Учение Башковича

Искключение составили труды хорватского ученого Руджера Иосипа Башковича (1711–1787), который попытался построить монистическое учение, отличное от декартова. В данной выше классификации его следует отнести к учению, лежащему на стыке реляционного и теоретико-полевого миропониманий.

Башкович развивал атомистическую программу, где частицы (первые элементы природы) трактовались как непротяженные точки, являющиеся центрами сил. Он не наделял их свойствами твердости или непроницаемости, как это было у ряда его предшественников.

Башкович в отличие от многих других не относил пространство к самостоятельной категории и определял его через понятие возможности, тогда как в действительности существуют лишь центры сил.

Он писал: «Я не признаю никакого существующего континуума. (...) Ибо пространство для меня не есть какой-либо реальный континуум, но только воображаемый». В другом месте он расшифровывает свою позицию: «В действительности всегда существует граница и определенное число точек и интервалов; напротив, в возможном нигде нет конца. Поэтому абстрактное рассмотрение возможностей как раз и порождает в нас идею непрерывности и бесконечности некой воображаемой линии. Но так как сама возможность есть нечто вечное и необходимое — ибо от века и необходимо является истиной, что могут существовать эти точки со всеми их свойствами и модусами, — то и воображаемое, непрерывное и безграничное пространство есть нечто вечное и необходимое; однако оно не есть нечто существующее, а есть простое неопределенное предположение чего-то, могущего существовать» [41, с. 208]. Таким образом Бошкович предлагал устраниТЬ из физики континуум.

Взаимодействия Бошкович также не относил к самостоятельной категории, считая их внутренним свойством атомов-центров сил. Существенным моментом его взорений было положение об одновременном присутствии сил притяжения и отталкивания, зависящих от расстояния между точками-центрами сил. На малых расстояниях преобладающими оказывались силы отталкивания, бесконечно возрастающие при уменьшении расстояний, что не позволяло точкам слиться. На больших расстояниях силы отталкивания сменялись силами притяжения, убывающими обратно пропорционально квадрату расстояния, как это имеет место в ньютоновском законе всемирного тяготения.

Историки физики отмечают, что в XVIII в. работы Бошковича хотя и вызывали восхищение, но последователей практически не имели. Можно сказать, они оказались преждевременными. Значительно больший резонанс его идеи имели в XIX в.

1.5.2. Метафизика и развитие физики

Ряд метафизических проблем возник в связи с развитием аналитической механики в трудах Жана Батиста Даламбера (1717–1783), Пьера Луи Моро де Мопертюи (1698–1759), Самюэля Кенига (1712–1757), Ж. Л. Лагранжа (1736–1813) и других, превративших в XVIII в. механику в аналитическую дисциплину. Особо следует отметить формирование принципа наименьшего действия, вызвавшего оживленные дискуссии о конечной причине движения, о проявлении через этот принцип «божественных начал» в механике и другие.

В «Трактате по динамике» (1743 г.) Даламбера формулировалась программа перестройки механики на небольшом числе общих принципов метафизического характера. Предлагалось изгнать из оснований механики «физические принципы и гипотезы», а в «Аналитической

механике» (1788 г.) Ж. Лагранжа из механики изгонялись какие-либо ссылки на геометрические представления: «В этой работе вы не найдете рисунков. Излагаемые мною методы не нуждаются ни в построениях, ни в рассуждениях геометрического или механического характера, а лишь в алгебраических операциях, подчиняющихся строгим и однообразным правилам. Тот, кто любит математический анализ, с удовольствием увидит, что механика становится новым разделом анализа, и будет мне благодарен за такое расширение области его применения» (цит. по [103, с. 157]). Это было продолжением линии Декарта по алгебраизации физики.

Другой круг метафизических проблем был связан с описанием тепловых движений. В XVIII в. взгляды на природу теплоты разделились. Если в первой половине века доминирующими были представления о теплоте как некоем движении малых частиц тела, что отстаивалось в трудах Роберта Бойля (1627–1691) и Леонарда Эйлера (1707–1783), то во второй половине XVIII в. верх одержали взгляды о субстанциальной природе теплоты. Развивалась теория теплорода, соответствующая картезианской натурфилософии. Ее разделяли Блэк, Марат (ставший впоследствии известным революционером) и другие. В этом же духе развивалась химическая теория «флогистона», предложенная Г. Э. Шталем.

Вообще в то время были довольно распространены идеи о наличии особых субстанций, ответственных за проявления многих физических явлений. Распространение света объяснялось особой эфирной средой, силы гравитационного взаимодействия связывались с гравитационным эфиром, передача теплоты — с перетеканием теплорода и т. д.

Для развития науки в России были важны метафизические позиции Михаила Васильевича Ломоносова (1711–1765). Известно, что они сложились под влиянием Христиана Вольфа, ученика Лейбница. Во взглядах Ломоносова объединились представления о лейбницевских монадах («Расположение физических монад есть место, в котором любая монада пребывает по отношению к другой») с воззрениями Гюйгенса о природе света. В центре миропонимания Ломоносова была категория частиц (монад), на основе которой давалось определение материи: «Материя есть протяженное непроницаемое, делимое на нечувствительные части» [101, т. 1, с. 107]. Ученый пытался доказать, что «существуют неделимые корпускулы».

Ломоносов говорил о корпускулах двух видов: описывающих известную материю и более тонких корпускулах особой эфирной материи. С помощью эфирных корпускул Ломоносов объяснял ряд понятий и явлений физического мира:

«Эфир — причина сцепления, так как, будучи приведен в движение, уничтожает сцепление» [101, т. 1, с. 153].

«Если бы эфир не был весом, он не входил бы в колокол [воздушного насоса]» [там же, с. 123].

«Колебания эфира дает свет, а не звук; колебание воздуха дает звук, а не свет» [там же, с. 157].

«Необходимо признать, что существует некая материя, своим движением толкающая тяготеющие тела к центру Земли» [101, т. 2, с. 197].

Ломоносов, предлагая механизмы описания взаимодействий и сцеплений корпускул, испытывал определенные затруднения: «В трактате о материи надо лишь показать, что сцепление зависит только от величины корпускул, а объяснение отложить на будущее» [101, т. 1, с. 113]. Видимо, это те же сомнения, что испытывал и Ньютона при формулировке закона всемирного тяготения.

1.5.3. Природа и категории в натурфилософии И. Канта

Отдельно следует остановиться на натурфилософии **Имануила Канта (1724–1804)**. Главным ее отличием от философии его предшественников была постановка во главу угла не мира, как такового, а познающего его субъекта, в котором следует различать индивидуальную и трансцендентальную стороны. Объективность знания, по Канту, обеспечивается трансцендентальной, т. е. врожденной, системой представлений и законов. Отсюда следует и данное Кантом название — трансцендентальная философия (идеализма).

В философии Канта выделены *три ключевых начала* субъекта: чувственное восприятие (ощущения), рассудок (организация чувственных восприятий), разум (цель, движущий стимул для рассудка). Легко заметить, что эти начала соответствуют трем началам философско-религиозных учений: материальному, идеальному и духовному.

Для описания физической реальности в системе Канта наибольший интерес представляют второе из названных начал — рассудок, который конструирует мир на основе четырех групп категорий: количества (всеобщность, множество, единичность), качества (реальность, отрицание, ограничение), отношения (субстанция, причинность, взаимодействие), моделиности (возможность, действительность, необходимость). Примечательно, что все три выделенные метафизические категории физики XX в. фактически попадают в группу кантовских категорий отношения. Остановимся отдельно на этих категориях.

Материю (в нашей терминологии — частицы) Кант не отождествлял с пространством, как это делал Декарт, а разделял в этом вопросе позицию Ньютона. Он писал: «Материя есть субъект всего того, что может быть отнесено к существованию вещей в пространстве; ведь вне ее нельзя иомыслить никакой другой субъект, кроме самого пространства; но пространство есть понятие, еще не содержащее в себе ничего

существующего, а содержащее лишь необходимые условия внешнего соотношения между возможными предметами внешних чувств» [41, с. 354]. Таким образом, Кант определяет материю как «предмет внешних чувств», в противоположность пространству и времени, которые являются лишь формой, куда помещается материя.

Особо следует отметить, что материю Кант относил к категории отношений, т. е. считал, что материя представляет собой лишь явление, а не вещь в себе, причем материя, в его понимании, больше соответствовала именно термину «субстанция», а не категории частиц. В этом вопросе он был ближе к взглядам Декарта и не соглашался с монадологией Лейбница.

Пространство и время занимают особое место в деятельности рассудка. Ощущения, чувственные восприятия человека рассудком упорядочиваются и укладываются как бы в готовые формы, каковыми являются пространство и время. По Канту, пространство — это априорная форма «внешнего чувства» (или внешнего созерцания), а время — априорная форма «внутреннего созерцания». В естественнонаучном плане, когда рассудок уже упорядочил явления и субстанцию в пространственных и временных отношениях, понятие пространства (материального) у Канта имеет относительный характер и связывается с явлениями и с движущейся субстанцией, т. е. является подвижным. Он отвергает ньютоновское абсолютное пространство и признает лишь относительное, утверждая, что «абсолютное пространство *само по себе* есть ничто и не есть объект».

Кант существенно расходится с Ньютоном в определении силы (в нашей терминологии — полей переносчиков взаимодействий). Если Ньютон фактически относил силы к особой категории, то Кант связывал их с материей и со свойствами пространства (с геометрией). Он вводил два типа сил: силы отталкивания, заменяющие свойства непроницаемости материи в учении атомистов, и силы притяжения. Кант считал, что человек своими органами чувств непосредственно может воспринимать только силы отталкивания, тогда как силы притяжения проявляются опосредованно.

С позиций физики сегодняшнего дня, взгляды Канта в этом вопросе ближе всего соответствуют геометрическому видению мира, нашедшему свое воплощение в эйнштейновской общей теории относительности (см. 3-ю часть данной книги).

Наконец, следует остановиться на понимании Кантом *диалектики*. Он считал диалектическое противоречие свидетельством незаконного применения наших познавательных возможностей. Само понятие диалектики характеризуется, таким образом *отрицательно*. С кантовским пониманием диалектики связаны его известные антиномии (противоречия). Согласно Канту, предмет, которому приписываются взаимоисключ-

чающие определения, непознаваем. Этим он фактически устанавливает границы познания.

1.6. Уроки метафизики и натурфилософии прошлого

Физика, как и все естествознание, имеет философско-религиозные истоки; она выросла из философско-религиозных учений прошлого и несет в себе их черты. Но самое главное заключается в том, что в физических и в философско-религиозных учениях проявляются одни и те же метафизические закономерности.

I. Метафизика философско-религиозных учений

1. В философско-религиозных учениях представлены как холистический, так и различные виды редукционистского подхода к мирозданию. Холистический подход был характерен для древних учений Востока и для школы Пифагора. В былые времена сам холистический подход и разные виды членений единого (всего мироздания или его частей) ассоциировались с различными метафизиками, которых здесь предлагается назвать метафизическими парадигмами. Имеются монистическая (холистическая), дуалистические (членения на две части) и триалистическая метафизические парадигмы, составляющие основы метафизики.

2. Античные учения Платона, атомистов и Аристотеля строились в рамках дуалистической парадигмы, опирающейся на идеальное и материальное начала.

3. В ходе развития философско-религиозных учений выявились три ключевых начала: материальное, идеальное и духовное, на базе которых строятся конкретные философские и религиозные системы.

4. В рамках каждого из философско-религиозных начал проявлялись те или иные метафизические парадигмы, в чем усматриваются истоки принципа фрактальности, сформулированного во Введении.

5. На неполноту двуединой монистической парадигмы обратил внимание Аристотель, показавший необходимость введения третьей стороны, связывающей две противоположности. Это было осуществлено через понятия возможности и действительности. Противоположности существуют лишь в возможности, тогда как действительность единна. Всякое движение состоит в переходе от возможности к действительности.

II. Метафизика материального начала

Парадигмы материального начала прошлого послужили прообразом физических (метафизических) парадигм XX в., рассмотрению которых

и посвящена данная книга. Следует выделить разработанные в XVII в. четыре физические (метафизические) системы: Декарта, Лейбница, Гюйгенса и Ньютона.

1. Система Декарта явила монистической, опирающейся на одну обобщенную категорию материи, тождественной с пространством. Она послужила прообразом парадигмы геометрического миропонимания мира, о чем потом свидетельствовал А. Эйнштейн.

2. Дуалистическая система Лейбница опиралась на две обобщенные категории: материи (частиц), объединенной с категорией пространства (пассивной материи), и материи, объединенной с полями переносчиков взаимодействий (активной материи). Ее можно назвать прообразом теории прямого межчастичного взаимодействия Фоккера—Фейнмана из реляционного миропонимания.

3. Дуалистическая система Гюйгенса опиралась на категорию пространства (времени) и категорию материи, объединяющей в себе категории частиц и полей переносчиков взаимодействий. Ее можно считать прообразом теоретико-полевого миропонимания.

4. Триалистическое учение Ньютона положило начало теориям триалистической парадигмы XX в. В нем были представлены три ключевые физические категории: вещество (тела), пространство (и время), силы (как прообраз категории полей переносчиков взаимодействий). Соответствующие им три характеристики присутствуют во втором законе Ньютона.

Следует напомнить, что среди представителей западной культуры того времени было немало мыслителей, резко возражавших против расчленения единой природы на отдельные категории. Следует упомянуть позицию И. Гете, внесшего огромный вклад в мировую культуру как поэт. Мало кому он известен как естествоиспытатель. Свои взгляды на природу он отобразил во многих своих произведениях. Так, в стихотворении «Прочное в семенах» он писал:

«Образ, дивно расчлененный,
Пропадает навсегда».

Много высказываний по этому вопросу можно найти в его «Фаусте», однако на тот исторический момент правота оказалась за Ньютоном.

5. Большие проблемы возникли при согласовании учений античности, опирающихся на идеальное и материальное начала, и христианства, опирающегося на духовное и материальное начала. Достигнутый компромисс между учением Аристотеля и христианским богословием, просуществовавший полтора тысячелетия, можно объяснить, во-первых, одинаковым дуалистическим характером их парадигм и, во-вторых, близостью триединства идеального начала в учении Аристотеля и христианского догмата Святой Троицы.

Аналогичные проблемы потом возникли в XX в. в попытках объединить квантовую теорию и общую теорию относительности, также представляющие дуалистические парадигмы, но основанные на разных физических категориях.

6. Создатели четырех главных физических систем были естественноиспытателями, вынужденными стать одновременно и выдающимися философами (метафизиками). Постепенно физика вышла из рамок философско-религиозных учений, и ее творцы развивали свои теории, опираясь на новые метафизические парадигмы (новые «метафизики») материального начала. Для соответствующего уровня естественнонаучных представлений оказался плодотворным редукционистский подход.

7. Успехи естествознания XVII—XVIII вв., особенно в механике, заложили основы для последующего разрыва физики не только с философией античности, но и с религией, несмотря на то что Р. Декарт, Г. Лейбниц, Х. Гюйгенс и И. Ньютон были глубоко верующими христианами. Метафизические парадигмы физики все более и более отличались от парадигмы идеального начала и религиозной парадигмы (духовного начала). Можно утверждать, что *расхождение между наукой и религией было обусловлено существенными различиями используемых парадигм, т. е. дальнейшее противостояние науки и религии имело метафизические корни*.

8. Анализ естественнонаучных теорий и программ прошлого выявляет тенденцию использовать минимальное число физических (метафизических) категорий и «в пределах» прийти к единому началу, т. с. обнаруживается *стремление к монистической физической парадигме*. Таким образом, в перспективе можно надеяться на однотипность физической и монистических парадигм идеального и духовного начал, что позволит под новым углом зрения посмотреть на соотношение науки (физики), философии и религии.

9. Во всех рассмотренных учениях важное место занимал наблюдатель, воспринимающий окружающий мир. Это нашло отражение в трудах Галилея, Лейбница и Ньютона. Особое значение в рамках специфической философии идеализма было уделено наблюдателю (субъекту) в трудах Канта.

Часть I

Классические представления о мире

К началу XX в. сложилась физическая картина мира, основанная на трех ключевых физических категориях: 4-мерного классического пространства-времени, полей переносчиков взаимодействий и частиц. В XIX в. представления о мире были существенно иными. Так, в начале и в конце XIX в. доминирующими были представления о наличии эфира как материальной среды, ответственной за передачу взаимодействий. Тела (частицы) и носители взаимодействий (виды эфира) понимались как разновидности материальной субстанции со свойствами вещества. На рубеже XIX и XX вв. взамен эфира были введены поля переносчиков взаимодействий, получившие статус самостоятельной физической категории. Одновременно с этим пространство, очищенное от эфира, было объединено со временем и составило единую категорию пространства-времени. Только в начале XX в. категория частиц была окончательно признана мировым сообществом в качестве физической. Сложившаяся физическая картина мира, соответствующая триалистической (метафизической) парадигме, наглядно пояснена на рис. 1, где три ортогональных орта соответствуют трем физическим категориям, через которые описывается реальный мир, представленный в виде пунктирного куба.

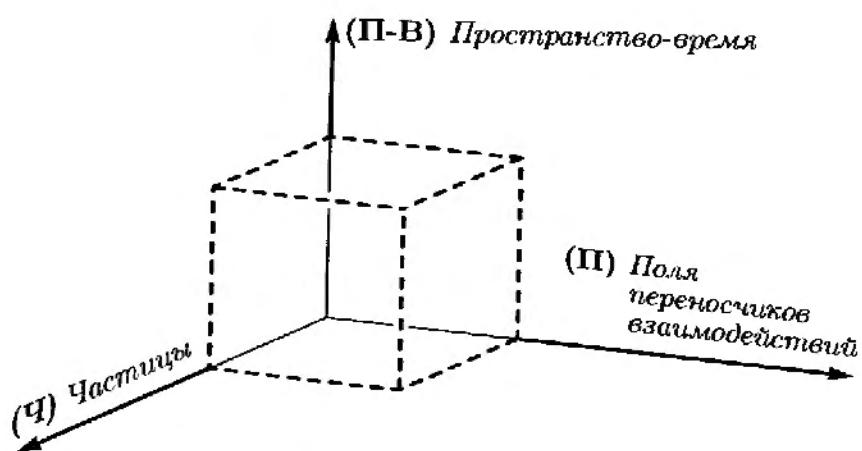


Рис. I.1. Триалистическая парадигма

В данной части обсуждены представления XX в. о трех названных физических категориях: в гл. 2 рассмотрена категория пространства-времени, в гл. 3 — категория полей переносчиков взаимодействий, а в гл. 4 — категория частиц.

Глава 2

Пространство-время

Рассмотрение физических категорий начинается с категории пространства-времени, во-первых, потому, что она в фундаментальной теоретической физике занимает центральное место. Без преувеличения можно сказать, что все главные открытия в физике XX в. фактически были связаны с пересмотром представлений о пространстве и времени. Во-вторых, сама категория пространства-времени является обобщенной, вовравшей в себя две более простые категории: отдельно пространства и отдельно времени, рассматривавшиеся до XX в. вместе, но как независимые. В-третьих, при переходе к 4-мерному пространству-времени проявляется ряд обстоятельств, которые будут возникать на протяжении этой книги всякий раз, когда будет осуществляться переход от пары категорий (простых или обобщенных) к новой обобщенной.

В этой главе рассматривается совокупность философских (метафизических), экспериментальных и математических факторов, обусловивших переход к категории единого пространства-времени. Затем даются необходимые пояснения к математическому аппарату специальной теории относительности, в частности анализируется обратный переход от обобщенной категории к простым исходным, где ключевую роль играет понятие системы отсчета. Во всех последующих главах также будут присутствовать некие аналоги классических систем отсчета. Здесь же предложен метафизический анализ аксиоматики геометрии (пространства-времени).

2.1. От пространства и времени к пространству-времени

Герман Минковский, выступая в 1908 г. на 80-м собрании немецких естествоиспытателей и врачей в Кельне, заявил: «Милостивые господа! Воззрения на пространство и время, которые я намерен перед вами разить, возникли на экспериментально-физической основе. В этом их сила. Их тенденция радикальна. Отныне пространство само по себе и время

само по себе должны обратиться в фикции и лишь некоторый вид соединения обоих должен сохранить самостоятельность» [111, с. 167]. В этом заявлении Г. Минковского можно увидеть все три составные части всякой теории: эксперимент, математический аппарат и физическое (философское) осмысление.

Приступая к рассмотрению экспериментальной базы теории, напомним, что долгое время наука не знала более фундаментальных уравнений, чем уравнения механики Ньютона. И вот во второй половине XIX в. Джеймс Максвелл, опинаясь на результаты Майкла Фарадея, сформулировал систему уравнений, описывающих электромагнитное поле, под которым тогда понималось некое напряженное состояние эфира. Считалось само собой разумеющимся, что уравнения Максвелла должны иметь место лишь в одной привилегированной инерциальной системе отсчета, жестко связанной с абсолютно покоящимся эфиром. В связи с этим в конце XIX в. был поставлен ряд экспериментов с целью обнаружения движения Земли относительно неподвижного эфира. В задачу этой книги не входит описание известных опытов Майкельсона и Физо. Для нас здесь принципиально лишь то, что с их помощью не удалось обнаружить абсолютное движение Земли. Как уже отмечалось, это заставило сначала вносить корректизы в понимание эфира, а затем вовсе отказаться и от него, и от представлений о преемственной инерциальной системе отсчета. Открылся простор для перехода к новым представлениям о природе пространства и времени.

Шаг за шагом физики приближались к истине. Уже в 1892 г. Джордж Фитцджеральд высказал гипотезу о сокращении длин. Многое было сделано Хендриком Лоренцем, который в 1904 г. нашел преобразования, через год подтвержденные Анри Пуанкаре, относительно которых уравнения Максвелла инвариантны. Любопытно упомянуть, что эти преобразования, известные как преобразования Лоренца, были записаны еще в 1887 г. в работе В. Фохта. Но, видимо, тогда это открытие было преждевременным.

Вот как один из создателей релятивистской квантовой теории П. А. М. Дирак описал достижения Х. Лоренца: «Каждый, изучавший теорию относительности, несомненно удивлялся, почему Лоренц, которому удалось правильно построить все основные уравнения, необходимые для установления относительности пространства и времени, оказался не в состоянии сделать последний шаг, фактически устанавливающий относительность. Он проделал всю тяжелую работу — все действительно необходимые математические расчеты, но оказался не в состоянии пойти дальше, и вы спросите: «Почему?». Я думаю, что его удержали страхи, своего рода нерешительность. В самом деле, он побоялся вступить в совершенно новую область, поставить под вопрос общепринятые с незапамятных времен идеи. Он предпочел остаться на

твёрдой почве своих математических расчетов. Пока он на ней оставался, его позиция была неуязвима; если бы он пошел дальше, неизвестно, какую критику это вызвало бы. Я думаю, что у него победило желание оставаться на совершенно безопасной почве.

Чтобы сделать необходимый шаг вперед и сказать, что время и пространство связаны между собой, понадобилось еще много лет и смелость Эйнштейна. Теперь этот шаг кажется очень маленьким шагом вперед, но в те дни сделать его было очень трудно. То, что я сейчас сказал, конечно, только предположение, но я думаю, что оно должно довольно точно соответствовать фактам. Я не вижу иного объяснения тому, как можно подойти столь близко к великому открытию и все же в конце не суметь сделать последний небольшой шаг» [57, с. 69].

Требование инвариантности всех законов природы относительно преобразований Лоренца впервые высказал (скорее, как возможность) Анри Пуанкаре. Наконец, в 1905 г. Эйнштейном было показано, что наличие этих преобразований (симметрий) содержит в себе значительно большее, чем формальное математическое свойство уравнений, — они соответствуют свойствам единого 4-мерного пространственно-временного многообразия. Именно с этого момента обычно отсчитывается создание специальной (или частной) теории относительности.

Для окончательного осознания принципов специальной теории относительности был важен геометрический вклад Германа Минковского, записавшего в симметричном виде квадрат интервала между двумя событиями в 4-мерном пространстве-времени. Это открытие привлекло внимание математиков и способствовало перенесению их разработок на физику.

Основы специальной теории относительности сейчас известны всем выпускникам средней школы, однако, к сожалению, это не позволяет говорить об усвоении ими (и даже многими студентами вузов) принципов этой теории. Недостаточно заучить определения и формулы, необходимо изменить характер физического мышления и, оттолкнувшись от привычных представлений, подняться на более высокую ступень миропонимания. Каждому приходится пройти тяжкий путь преодоления ряда «парадоксов» теории относительности и только после многократного их разрешения достичь убежденности в ее справедливости.

Такая картина наблюдалась и в физике первой трети XX в. Как пишет К. Зелиг, «даже Нильс Бор, принадлежащий, как и Планк, к «отцам атомной теории», долгое время скептически относился к теории относительности. Вильгельм Рентген тоже честно признался в письме: «У меня еще никак в голове не укладывается, что надо применять такие совершенно абстрактные рассуждения и понятия для объяснения явлений природы»... Новую теорию высмеивали юмористические журналы и эстрадные куплетисты» [68, с. 69]. Теория относительности

оживленно обсуждалась в 1911 г. на Сольвеевском конгрессе, где присутствовали Э. Резерфорд, М. Склодовская-Кюри, П. Ланжевен, М. Планк, В. Ф. Г. Нернст и другие известные физики. В книге Б. Г. Кузнецова об А. Эйнштейне можно найти такие слова: «Эйнштейн в письме в Цюрих к своему другу доктору Генриху Цангера говорил (после Сольвеевского конгресса. — Ю. В.), что сущность теории относительности не была понята» [89, с. 200].

Столь же высоких ступенек, разделяющих уровни понимания физических принципов, немного. Сравниться с ними может, на наш взгляд, лишь осознание принципов квантовой механики и отчасти переход от специальной теории относительности к общей, который, как правило, дается значительно легче.

В России физики сравнительно быстро восприняли идеи специальной теории относительности. Сторонниками новой теории стали Н. А. Умов, П. Н. Лебедев, П. С. Эпштейн в Москве, О. Д. Хвольсон, В. С. Игнатовский в Петербурге, А. В. Васильев в Казани, В. Ф. Коган в Одессе и другие. Однако механики оказались более консервативными: негативную позицию по отношению к специальной теории относительности заняли Н. Е. Жуковский, Я. И. Гордина, К. Э. Циолковский и некоторые другие ученые. Долгое время среди физиков велась дискуссия по вопросу, как понимать преобразования Лоренца: только лишь как свойство уравнений электромагнитного поля или как всеобщий закон природы. Известно, что ряд физиков и естествоиспытателей относили преобразования Лоренца лишь к теории электромагнетизма. Заметим, что до сих пор во многих вузовских учебниках физики специальную теорию относительности излагают в разделе электродинамики, что нередко приводит к недооценке глобального значения теории относительности в системе физического мироздания.

2.2. Пространство-время Минковского

Полагая, что путь от ньютоновской теории к релятивистской читатель так или иначе прошел, напомним основные положения теории 4-мерного пространства-времени Минковского, а в следующих разделах опишем обратный путь к пространству и времени Ньютона Галилея.

В специальной теории относительности посредством пространства-времени Минковского, строго говоря, описываются события и соотношения между ними. Каждое событие характеризуется точкой в 4-мерном пространстве-времени, т. е. ему ставится в соответствие четверка чисел x^μ , где индекс μ пробегает 4 значения: 0, 1, 2, 3. Координата с индексом 0 обычно связывается со временем ($x^0 = xt$), а оставшиеся три — с пространственными измерениями (см. рис. 2.1). Нередко полагается, что пространственные координаты являются декартовыми, хотя это совер-

шенно необязательно. Они могут быть сферическими, цилиндрическими или любыми иными.

Современная физика вплотную подошла к ответу на метафизический вопрос, поставленный еще в работах Э. Маха: «Почему пространство трехмерно?» Однако сегодня этот вопрос должен быть поставлен иначе: почему пространство-время четырехмерно? В гл. 10, посвященной многомерным геометрическим теориям, мы вернемся к этой проблеме.

Любой паре событий, произошедших в точках x_1^μ и x_2^μ , соответствует вещественное число — *квадрат интервала* между этими событиями, определяемый через разности координат событий:

$$\begin{aligned}\Delta s^2 &= (x_2^0 - x_1^0)^2 - (x_2^1 - x_1^1)^2 - (x_2^2 - x_1^2)^2 - (x_2^3 - x_1^3)^2 \equiv \\ &\equiv (\Delta x^0)^2 - \Delta l^2 \equiv \eta_{\mu\nu} \Delta x^\mu \Delta x^\nu,\end{aligned}\quad (2.2.1)$$

где коэффициенты $\eta_{\mu\nu}$ в последнем выражении справа называются компонентами *метрического тензора* пространства-времени Минковского. Здесь и в дальнейшем производится суммирование от 0 до 3 по повторяющимся сверху и снизу греческим индексам.

Метрика — вещественное число, являющееся интервалом в специальной теории относительности или длиной в геометрии, играет чрезвычайно важную, если не сказать определяющую, роль во всей системе физического мироздания. Еще в середине XIX в. математиком Б. Риманом [143] был поставлен метафизический вопрос о причине возникновения метрических отношений и сделан вывод о физических источниках этого геометрического понятия.

В декартовых координатах компоненты метрического тензора представляются в виде 4×4 -матрицы:

$$\eta_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} +1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}. \quad (2.2.2)$$

Число плюсов и минусов на главной диагонали является важным инвариантным свойством многообразия, обычно называемым *сигнатурой*. В физическом пространстве-времени Минковского один знак плюс и три знака минус (или можно выбрать наоборот). Чаще всего сигнатуру обозначают выражением $(+ - -)$. В сигнатуре пространства-времени можно усмотреть проявление метафизических двойничности (в виде двух знаков $+$ и $-$, т. е. времени-подобности и пространственно-подобности) и троичности (в виде трех пространственных измерений).

Если одно из событий находится в начале координат, то, очевидно, квадрат интервала (2.2.1) записывается проще

$$s^2 = (x^0)^2 - (x^1)^2 - (x^2)^2 - (x^3)^2 \equiv (x^0)^2 - l^2. \quad (2.2.3)$$

Можно сказать, что это выражение представляет собой не что иное как обобщение на 4-мерный случай общеизвестной теоремы Пифагора, правда, с учетом сигнатуры. В современной теоретической физике обсуждается вопрос о причинах именно такой сигнатуры наблюдаемого пространства-времени.

Как было сказано выше, для создания теории относительности важное значение имело открытие преобразований, при которых остаются инвариантными уравнения Максвелла. Важность этих преобразований состоит в том, что относительно них оказываются инвариантными все фундаментальные уравнения и выражения, в том числе и квадраты интервалов (2.2.1) и (2.2.3). Это линейные преобразования, представимые в форме

$$x'^\mu = C_\nu^\mu x^\nu. \quad (2.2.4)$$

На коэффициенты C_ν^μ , характеризующие эти преобразования, наложен ряд условий. Подставляя эти преобразования, например, в (2.2.3), легко найти эти условия:

$$C_\nu^\mu C_\alpha^\nu = \delta_\alpha^\mu. \quad (2.2.5)$$

Это 10 условий на 16 коэффициентов, т. е. независимыми являются только 6. Совокупность таких преобразований образует группу, называемую группой Лоренца. Она обозначается символом $O(1, 3)$, отражающим сигнатуру пространства-времени.

Скорость любой точки характеризуется четырьмя компонентами вида

$$u^\mu = \frac{dx^\mu}{ds}, \quad (2.2.6)$$

где вместо привычного дифференциала времени стоит дифференциал релятивистского интервала ds . Из определения интервала следует известное свойство 4-скоростей:

$$\eta_{\mu\nu} u^\mu u^\nu = 1, \quad (2.2.7)$$

означающее, что квадрат скорости любого (массивного) объекта равен единице.

Любая частица характеризуется своей мировой линией, и если она движется равномерно и прямолинейно, то ее мировая линия изображается прямой, наклоненной к оси времени. На рис. 2.1 изображена одна такая мировая линия, проходящая через начало координат.

Умножая 4-скорость на массу покоя частицы m_o и скорость света c , получаем 4-импульс частицы

$$p^\mu = m_o c u^\mu. \quad (2.2.8)$$

Компонента p^0 имеет смысл кинетической энергии частицы.

В пространстве-времени Минковского особое значение приобретают события или смещения, характеризуемые нулевыми значениями интервала. Если выделить точку-событие в начале координат, то все события, характеризуемые относительно начала нулевыми значениями интервала, лежат на конусах будущего и прошлого (см. рис. 2.1).

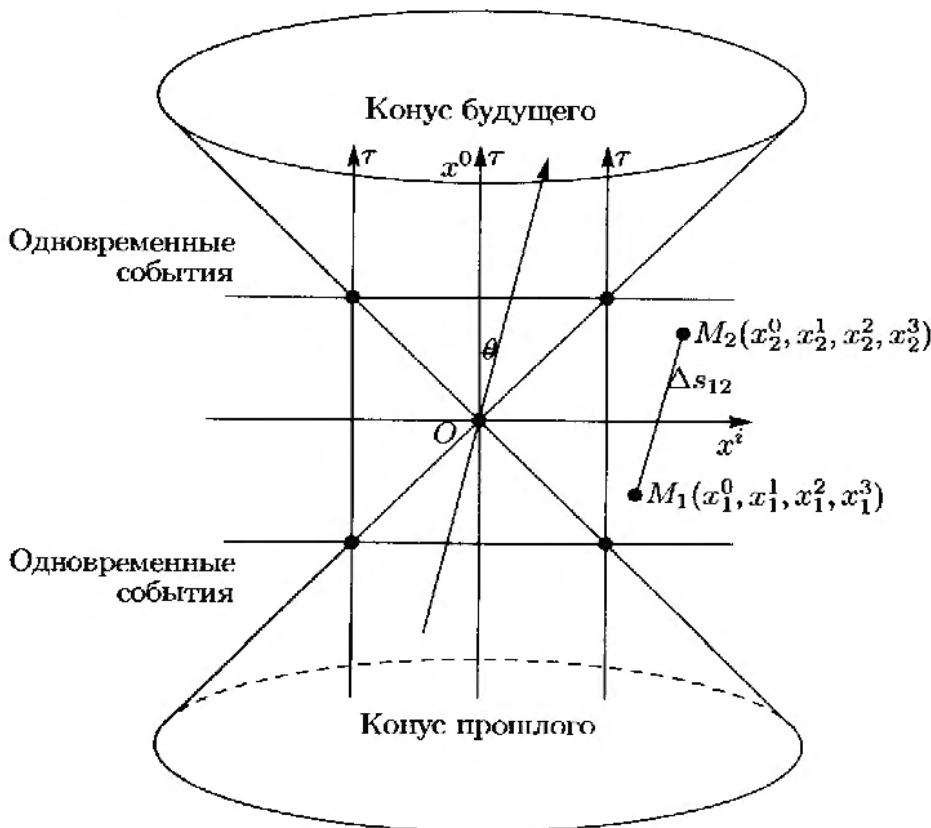


Рис. 2.1. События в пространстве-времени Минковского

Свет распространяется от одной частицы к другой по световому конусу, или по *изотропным мировым линиям*. Все мировые линии массивных частиц, проходящие через начало координат, обязательно лежат внутри световых конусов.

В самом общем случае уравнение движения частицы в пространстве-времени Минковского описывается релятивистским инвариантным уравнением движения:

$$m_o \frac{du^\mu}{ds} = F^\mu, \quad (2.2.9)$$

естественным образом обобщающим известный второй закон Ньютона. Здесь слева стоит релятивистское ускорение, а справа — релятивистская сила F^μ , характеризуемая четырьмя компонентами.

Выше была дана сводка ключевых соотношений в пространстве-времени Минковского. Заметим, что пока не было сказано ни слова о понятии системы отсчета или об относительности и все рассуждения велись строго в терминах 4-мерной теории.

2.3. Системы отсчета (1 + 3-расщепление)

После перехода к обобщенной категории 4-мерного пространства-времени и построения теории в новых терминах необходимо вспомнить, что мы сами рассуждаем и воспринимаем мир (его наблюдаем) в терминах именно старых понятий 3-мерного пространства и отдельно времени. Экспериментатор может измерять по своим часам время или линейкой расстояния. Это заставляет развернуть обратную процедуру перехода от обобщенной теории и ее специфических понятий к присущим нам (экспериментатору) представлениям, что осуществляется посредством введения понятия *системы отсчета*. Оказывается, что в классической области результаты измерений двух наблюдателей существенно зависят от относительной скорости их движения.

Подчеркнем, что в специальной теории относительности, как и в теории Ньютона, рассматривается класс привилегированных, так называемых *инерциальных систем отсчета*. В ньютоновской механике их существование постулируется первым законом Ньютона.

Прежде всего, необходимо показать, как от обобщенных 4-мерных понятий в пространстве-времени Минковского перейти к привычным 3-мерным величинам ньютоновской теории. Начнем с понятия 4-мерного интервала. В любой системе отсчета интервал для смещения произвольной частицы можно представить в виде

$$ds = \sqrt{(dx^0)^2 - dl^2} = dx^0 \sqrt{1 - (dl/dx^0)^2} = dx^0 \sqrt{1 - (v/c)^2}, \quad (2.3.1)$$

где введена нерелятивистская (ニュートン) 3-мерная скорость в рассматриваемой системе отсчета

$$v^i = \frac{dx^i}{dt}; \quad v = \frac{dl}{dt}. \quad (2.3.2)$$

Используя (2.3.1), легко перейти от 4-скорости u^μ в (2.2.6) к компонентам 3-мерных скоростей данной системы отсчета:

$$u^\mu = \frac{dx^\mu}{ds} \rightarrow u^i = \frac{v^i/c}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}; \quad u^0 = \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}. \quad (2.3.3)$$

Здесь и в дальнейшем латинские индексы пробегают три значения: 1, 2, 3.

Понятие системы отсчета принципиально отличается от понятия координатной системы. В рамках одной и той же системы отсчета можно выбирать различные координатные системы. В частности, из линейных 4-мерных преобразований (2.2.4) выделяются 3-мерные координатные преобразования

$$x'^i = C_k^i x^k, \quad x'^0 = x^0 \quad (2.3.4)$$

с условиями $C_k^i C_j^k = \delta_j^i$ на коэффициенты с латинскими (3-мерными) индексами, соответствующие различным выборам направлений координатных осей. Очевидно, при таких преобразованиях длины отрезков (Δl) не меняются. Кроме того, все покоящиеся тела, изображаемые в инерциальной системе отсчета вертикальными мировыми линиями, остаются неподвижными, т. е. характеризуются теми же линиями (см. рис. 2.2).

Однако среди (2.2.4) имеются преобразования, перемешивающие пространственные (с 3-мерными латинскими индексами) и временную координаты. Легко видеть, что при таких преобразованиях семейство вертикальных линий изменит свое направление. Если полагать, что получившиеся линии по-прежнему описывают мировые линии наблюдателей, то данное преобразование означает переход к иной инерциальной системе отсчета (со штрихованными координатами), в которой прежние неподвижные наблюдатели становятся подвижными, а неподвижные наблюдатели относительно новой системы отсчета характеризуются новыми вертикальными линиями. На рис. 2.2 изображены две системы мировых линий наблюдателей, угол между которыми определяется относительной скоростью их движения $\theta = \arcc \operatorname{ctg}(V/c)$.

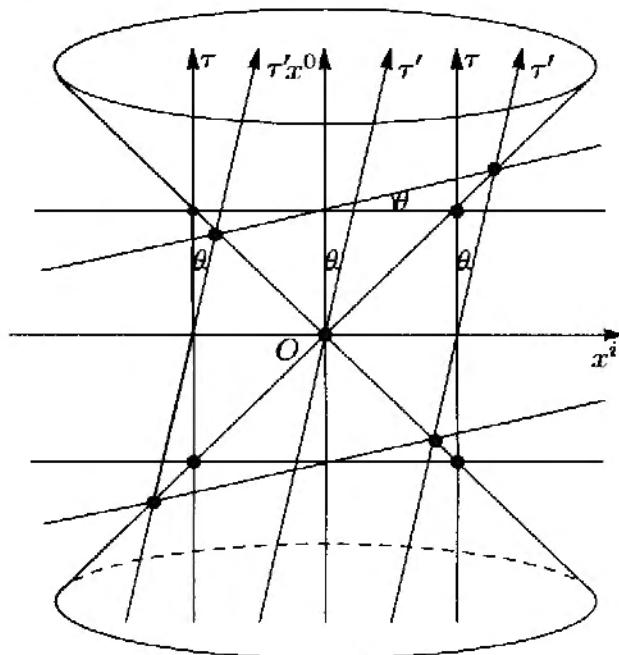


Рис. 2.2. Сравнение наблюдателей и линий одновременности в двух инерциальных системах отсчета

Для системы неподвижных наблюдателей одновременные события лежат на горизонтальных линиях, т. е. характеризуются одними и теми же значениями координаты $x'^0 = \text{Const}$. Для подвижного наблюдателя одновременные события оказываются иными. Их легко найти, так как

в обеих системах отсчета световые конусы оказываются теми же. Так, одновременными следует считать события, соответствующие точкам пересечения симметричных относительно начала координат наклонных линий со световым конусом. Соединяя их между собой, приходим к семейству наклонных линий, характеризующих одновременные события движущейся системы отсчета. Их отличие от семейства горизонтальных линий одновременности отражает свойство относительности понятия одновременности от состояния движения наблюдателей.

При переходе от одной системы отсчета к другой квадраты интервала между парой событий в них остаются одинаковыми, тогда как промежутки времени и 3-мерные длины (расстояния) в формуле (2.2.1) изменяются. Для частного случая, когда одна система отсчета движется вдоль какой-либо из осей, например оси x^1 , со скоростью V , преобразования промежутков времени и длин описываются известными формулами преобразований Лоренца

$$\Delta x'^0 = \frac{\Delta x^0 - (V/c)\Delta x^1}{\sqrt{1 - (V/c)^2}}; \quad \Delta x'^1 = \frac{\Delta x^1 - (V/c)\Delta x^0}{\sqrt{1 - (V/c)^2}}. \quad (2.3.5)$$

На этих формулах основаны рассуждения о сокращениях длин и о других следствиях специальной теории относительности. Легко видеть, что при малых скоростях относительного движения двух систем отсчета (при $V/c \ll 1$) соотношения (2.3.5) переходят в формулы для преобразований Галилея в ньютоновской механике

$$\Delta x'^0 = \Delta x^0; \quad \Delta x'^1 = \Delta x^1 - V\Delta t. \quad (2.3.6)$$

Имея формулу для преобразований Лоренца, можно получить формулу сложения скоростей. Полагая, что два события соответствуют двум положениям некоторой точки, так что в нештрихованной системе отсчета $v = \Delta x^1/\Delta t^1$, а в штрихованной — аналогично $v' = \Delta x'^1/\Delta t'^1$, и деля одну часть формулы (2.3.5) на другую и умножая на c , имеем

$$v' = \frac{v - V}{1 - vV/c^2} \rightarrow v = \frac{v' + V}{1 + v'V/c^2}. \quad (2.3.7)$$

Отсюда следует, что сложение двух скоростей v' и V , не превышающих скорость света, приводит к скорости, также меньшей c .

Очевидно, что для открытия специальной теории относительности и получения ее следствий как физического, так и методологического характера, необходимо было изучить явления, связанные с большими скоростями движения, сравнимыми со скоростью света. Во времена Галилея и Ньютона, не говоря об античности, это, естественно, было невозможным, что еще раз доказывает зависимость миропонимания (и даже восприятия метафизики) от уровня развития физики.

Следует подчеркнуть, что понятие системы отсчета в механике имеет идеализированный, как бы твердотельный, характер. Полагается, что во всех точках пространства определен свой наблюдатель или некая измерительная система, способная собирать информацию о событиях в соответствующих точках пространства-времени. Инерциальная система отсчета характеризуется, как говорят в геометрии, конгруэнцией параллельных прямых мировых линий. Рассмотрение двух (и более) систем отсчета означает наличие в каждой точке двух (или скольких угодно) идеальных наблюдателей, никак не влияющих друг на друга.

2.4. Природа пространства-времени

Перейдем к философскому осмыслению категории пространства-времени. В литературе можно встретить упоминания о двух взглядах на природу пространства-времени: *субстанциальном и реляционном*, однако, имея в виду названные выше три миропонимания и соответствующие им метафизические парадигмы, можно утверждать, что их больше — почти столько же, сколько имеется парадигм. При этом, строго говоря, отдельное рассмотрение категории пространства-времени допустимо лишь в триалистической парадигме и в дуалистической парадигме теоретико-полевого миропонимания. Во всех других парадигмах можно говорить лишь о некоторых обобщенных категориях, включающих в себя категорию пространства-времени. Именно такие обобщенные категории фактически имеют в виду, когда говорят о *субстанциальной* или *реляционной* природе пространства-времени.

Триалистическая и дуалистическая теоретико-полевая парадигмы автоматически означают редукционистский подход к миру-зданию, согласно которому пространство-время имеет онтологический характер, т. е. более первично, чем мир в целом, описываемый через эту и другие категории. Этот подход фактически был заложен в учении Демокрита и был представлен в трудах Ньютона. В нем пространство-время объективно существует как фон, как сцена, на которой, подобно спектаклю, разыгрывается история физического мироздания. Многие физики сознательно или бессознательно придерживаются именно этого понимания природы пространства-времени. Для развития современной теории поля необходим пространственно-временной фон, — без него невозможно ни определение, ни описание распространения полей.

Заметим, что когда в популярной, а то и в научной литературе пишут о возможности создания «машин времени», то за этим кроются представления о реальном существовании пространства-времени.

Однако если вдуматься в суть данного подхода, то неизбежно возникает ряд вопросов. В. Гейзенберг писал: «С точки зрения современной

науки, мы бы сказали, что пустое пространство между атомами Демокрита — это не ничто; оно является носителем геометрии и кинематики и делает возможным порядок и движение атомов. До сих пор возможность пустого пространства осталась нерешенной проблемой» [43, с. 32].

Субстанциальный подход к природе пространства-времени инициирует постановку ряда принципиальных задач философского звучания, таких как получение из вакуума известных видов материи (полей) и, как следствие, извлечение из вакуума энергии. Идея нового эфира — физического вакуума — нашла благодатную почву во многих умах. В результате в некоторых научно-исследовательских институтах под программу исследований вакуума и извлечения из него энергии выделялись значительные средства, организовывались специальные отделы со значительными штатами. Отметим, что серьезных сведений о положительных результатах таких работ не поступало.

В геометрическом миропонимании также имеется несколько парадигм, диктующих различный взгляд на природу пространства-времени. Так, в дуалистической парадигме, к которой принадлежит общая теория относительности, вводится обобщенная категория, объединяющая пространство-время с категорией полей переносчиков взаимодействий (но не частиц), а в экстремальной геометрической парадигме (монистической) опять приходим к субстанциальной природе пространства-времени, когда геометрическим (пространственно-временным) образом описывается и категория частиц.

Реляционный подход к природе пространства-времени соответствует реляционному миропониманию, которое будет проанализировано в четвертой части книги. Здесь лишь отметим, что в нем пространство-время рассматривается лишь как способ описания отношений между событиями материального мира. При отсутствии частиц и событий пространство-время теряет всякий смысл. Напомним, что данные взгляды были характерны для Лейбница. В XX в. этот подход развивался в трудах Я. И. Френкеля, Ф. Хойла, Дж. Нарликара и ряда других авторов.

Реляционный подход к природе пространства-времени был представлен в трудах Э. Маха, А. Пуанкаре и ряда других авторов. Так, например, Э. Мах в своей «Механике» обращал внимание на то, что многим умозрительным понятиям «большинством естествоиспытателей приписывается реальность, выходящая за пределы мышления... Мы не должны считать основами действительного мира те интеллектуальные вспомогательные средства, которыми мы пользуемся для постановки мира на сцене нашего мышления» [106]. Именно это происходило в прошлом, когда вводили теплород, флогистон, эфир и прочие субстанции. Немало подобных умозрительных понятий сохранилось и в современной физике. С позиций холизма это в полной мере относится и к по-

нятию пространства-времени, — оно представляет собой лишь удобную абстракцию, через которую человек создает себе представления об окружающем его мире.

2.5. Аксиоматика геометрии

В наиболее строгом виде математические представления о категории пространства-времени принято формулировать в виде *аксиоматики геометрии*. Следует отметить, что уже сам *аксиоматический подход* имеет *метафизический характер*, — это задание исходных, недоказуемых ничем положений, кроме как непротиворечивостью и приемлемостью построенной на их основе геометрии.

Обычно рождение аксиоматического подхода к геометрии датируется с «Начал» Евклида (III в. до н. э.), однако он обсуждался еще в трудах Платона и Аристотеля. Как уже отмечалось, Платон возражал против аксиоматического метода рассуждений, настаивал на способе рассуждений «по кругу» (на определении одних понятий через противоположные им), тогда как Аристотель был сторонником рассуждений «по лучу», когда вершиной луча служит набор аксиом, а сам луч представляет собой цепочку из лемм и теорем, возводящих здание геометрии. На многие века доминирующим стал подход Аристотеля (аксиоматический). Широко известна более чем двухтысячелетняя история с пятым постулатом Евклида (см. § 8.1).

Николай Кузанский определил аксиоматический подход выражающим основной принцип рассудка — «запрет противоречия». Как пишет П. П. Гайденко, «согласно Кузанцу, аксиомы, так же как и базирующиеся на них доказательства, являются тем «забором», с помощью которого рассудок заботливо отгородил свою территорию от тех противоречий, которые могли бы взорвать все возводимое им здание науки» [40, с. 29].

Анри Пуанкаре писал, что «геометрические аксиомы не являются ни синтетическими априорными суждениями, ни опытными фактами. Они есть условные положения (соглашения): при выборе между всеми возможными соглашениями мы руководствуемся опытными фактами, но самый выбор остается свободным и ограничен лишь необходимостью избегать всякого противоречия. Поэтому-то постулаты могут оставаться строго верными, даже когда опытные законы, которые определяли их выбор, оказываются лишь приближенными. Другими словами, аксиомы геометрии (я не говорю об аксиомах арифметики) суть не более чем замаскированные определения» [135, с. 40]. В своем произведении «Наука и гипотеза» он неоднократно возвращается к этой мысли, подчеркивая, «что в силу естественного отбора наш ум приспособился к условиям внешнего мира, что он усвоил себе геометрию,

наиболее выгодную для вида, или, другими словами, наиболее удобную. Но это соответствует нашим выводам о том, что геометрия не истинна, а только выгодна» [135, с. 62].

Как известно, всякая аксиоматика опирается на систему *примитивов* — исходных (далее не определяемых) элементарных понятий, подчиняющихся лишь данной системе аксиом. Например, в известных аксиоматиках евклидовой геометрии Гильберта, Костина и других авторов в качестве примитивов выбираются точки, прямые, плоскости, но возможен и иной выбор. Из них по определенным правилам строятся теоремы. Имеется большой произвол в выборе как самих примитивов, так и аксиом. Например, то, что в одной аксиоматике является теоремой, в другой аксиоматике может быть аксиомой, тогда некоторые аксиомы первой аксиоматики становятся теоремами. Конкретизация аксиоматики, в конечном счете, определялась целью, зачем она строилась. В любой аксиоматике неизбежно заложено то или иное мирононимание (одна из возможных метафизических парадигм). В большинстве предлагавшихся аксиоматик отражалось именно теоретико-полевое или триалистическое мирононимания. В них геометрические понятия формально не связывались с другими физическими категориями, понимались самостоятельными.

Оказывается, даже евклидова геометрия представляет собой довольно сложный комплекс из примитивов и аксиом, число последних варьируется в некоторых пределах, однако, как правило, превышает два десятка. Естественно, аксиоматики 3-мерной евклидовой геометрии отражали представления о пространстве в ньютоновой физике. После открытия специальной теории относительности (СТО) были разработаны аксиоматики 4-мерного пространства-времени в работах А. Робба, А. Д. Александрова и ряда других. Будем опираться на аксиоматику пространства-времени Минковского.

Анализ представленных в литературе аксиоматик такого рода показывает, что в них *минимальное и устойчиво повторяющееся число примитивов равно трем*. Как правило, в качестве примитивов геометрии выбираются: **точки, метрика (расстояния), множества**. При этом геометрические точки трактуются как физические точки-события, а вместо расстояний выступают интервалы (метрика). Примечательно также, что в предлагавшихся аксиоматиках *аксиомы разбиваются на три основные группы: аксиомы порядка, метрические и топологические аксиомы*, причем эти группы аксиом тесно привязаны к названным выше трем примитивам.

Кратко охарактеризуем названные группы аксиом.

1. Аксиомы порядка, как правило, выбирались исходными во многих аксиоматиках. В частности, было показано, что переход от

евклидовой 3-мерной геометрии и абсолютного времени к 4-мерному пространству-времени можно понимать как изменение аксиом порядка. Аксиомы линейной упорядоченности заменяются на аксиомы частичной упорядоченности.

Напомним, абсолютность времени в дарвинистских представлениях можно трактовать как свойство линейной упорядоченности точек-событий. Оно означает, что для любых двух событий a и b имеет место одно из трех отношений: либо b' следует за a ($b' > a$), либо a следует за b'' ($b'' < a$), либо a и b''' одновременны ($a = b'''$). Свойство линейной упорядоченности физически означает наличие сигналов с бесконечной скоростью распространения. Принятие постулата специальной теории относительности (СТО) о предельной скорости (света) привело к замене свойства линейной упорядоченности свойством частичной упорядоченности. Последнее означает (см. рис. 2.3), что для любых двух различных точек a и b имеет место одно из трех отношений: либо b' следует за a ($b' > a$), либо a следует за b'' ($b'' < a$), либо a и b''' не следуют друг за другом ($b''' \leftrightarrow a$), т. е. они не упорядочены. Первые два отношения означают времени-подобность рассматриваемых событий, последнее — пространственно-подобность.

Аксиомы частичной упорядоченности формируют систему упорядоченности для трех точек. Например, имеется аксиома транзитивности, утверждающая: если b следует за a , а c следует за b , то и c следует за a .

В большинстве аксиоматик СТО аксиомы частичной упорядоченности рассматриваются как ключевые, с которых начинается построение аксиоматики. На них называются все остальные группы аксиом. Именно отношения упорядоченности обуславливают понятие причинности в физике.

2. Метрические аксиомы составляют следующий важный класс аксиом пространства-времени Минковского. Их суть состоит в том, что для любой пары точек-событий задается вещественное число, называемое квадратом интервала между событиями (Δs^2). Интервал Δs обобщает понятие длины Δl между двумя точками¹⁾ в евклидовой геометрии или понятие промежутка абсолютного времени Δt между двумя событиями. Метрические аксиомы привязаны к аксиомам частичной упорядоченности. В частности, квадрат интервала между двумя точками положителен ($\Delta s^2 > 0$), если точки-события упорядочены (времени-подобны), и отрицателен ($\Delta s^2 < 0$), если точки-события пространственно-подобны. Относительно любой точки-события важную совокупность об-

¹⁾Отметим, что имеются так называемые многоточечные геометрии, где метрика (число) задается не для двух, а для трех, четырех и т. д. точек. Такие геометрии исследовались В. Я. Скоробогатько [153].

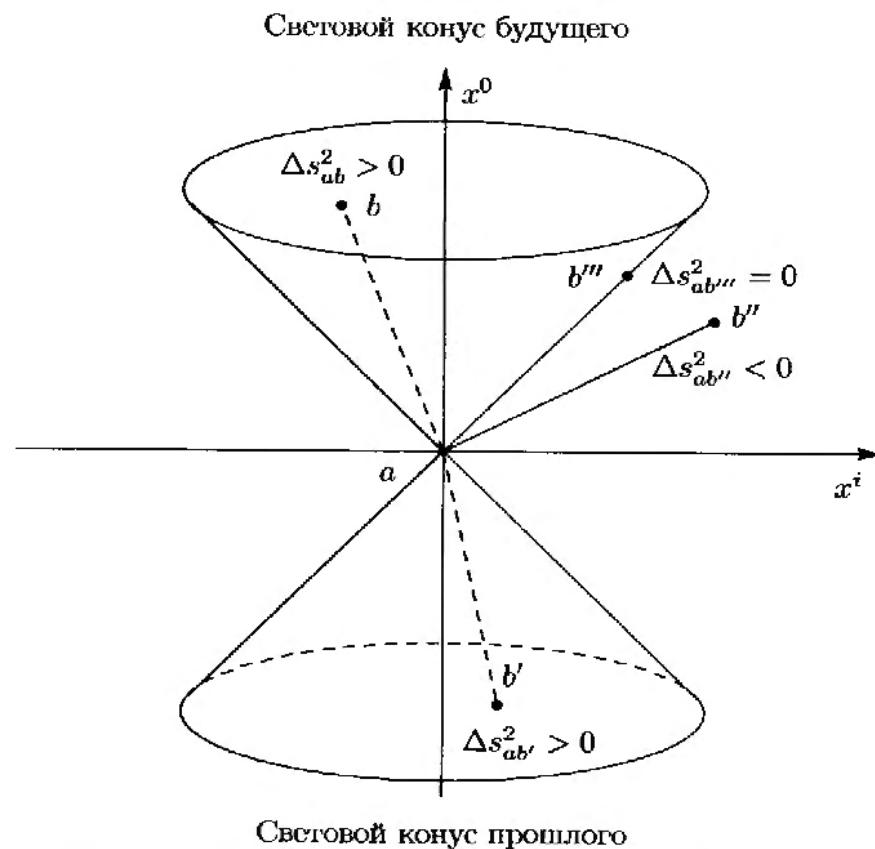


Рис. 2.3. Частичная упорядоченность в пространстве Минковского

разуют точки на световом конусе — на границе между пространственно-подобными и времени-подобными событиями (рис. 2.3).

В некоторых аксиоматиках из метрических аксиом отдельно выделяется **аксиома Архимеда**, утверждающая, что если даны два отрезка (числа), то, складывая меньший отрезок (число) некоторое число раз, всегда можно превзойти больший отрезок (число).

Принципиально важно отметить, что в определении метрических отношений содержится представления о вещественных числах. В связи с этим принято говорить, что используется еще система неявно заданных аксиом арифметики. В частности, это имел в виду А. Пуанкаре, говоря о скрытых аксиомах: «Являются ли аксиомы, явно формулируемые в руководствах, единственными основаниями геометрии? Мы можем убедиться в противном, замечая, что даже если одну за другой отвергнуть эти аксиомы, все-таки еще останутся нетронутыми некоторые предложения, общие теориям Евклида, Лобачевского и Римана. Эти предложения должны опираться на некоторые предпосылки, которые геометры допускают в скрытой форме» [135, с. 36].

3. Топологические аксиомы формируют понятие непрерывности. Здесь не будем углубляться в обсуждение отдельных топологиче-

ских аксиом (Хаусдорфа): аксиом окрестности, разделимости, объединения и других.

Из топологических аксиом часто выделяется особо аксиома размерности. Постулируется, что пространство-время Минковского 4-мерно (размерность $n = 4$)¹⁾.

Как правило, к этим трем группам аксиом добавляются еще специальные аксиомы, призванные уточнить их привязку друг к другу.

В связи с изложенным следует назвать работы Р. И. Пименова по аксиоматике геометрии, причем более общей, нежели геометрия пространства-времени Минковского, и даже более общей, чем геометрия эйнштейновской общей теории относительности. В монографии «Пространства кинематического типа (математическая теория пространства-времени)» [131] аксиоматически исследуются геометрии, начиная с наиболее общих (кинематик), основанных на задании множества точек-событий и аксиом частичной упорядоченности, и далее с последовательным добавлением других групп аксиом: топологических, метрических аксиом и на конечной стадии — учета материи, что приводит уже к общей теории относительности. Примерно такая же схема рассуждений использована в работах Моулда и некоторых других авторов. Во всех этих аксиоматиках опять присутствуют три примитива и три названные группы аксиом.

2.6. Геометрии с измененной аксиоматикой

Рассмотрим некоторые варианты геометрий с измененной (нетрадиционной) аксиоматикой.

1. В геометрическом и реляционном миропониманиях можно строить аксиоматику теории, опираясь не на аксиомы порядка, а на метрические аксиомы. При этом открывается множество новых геометрий, которые будут рассмотрены в третьей и четвертой частях этой книги. Здесь же остановимся на возможности построения геометрий, опирающихся на **арифметику с измененными свойствами**. На это обращал внимание П. К. Рашевский: «Натуральный ряд и сейчас является единственной математической идеализацией процессов реального счета. Это монопольное положение осеняет его ореолом некой истины в последней инстанции, абсолютной, единственно возможной, обращение к которой неизбежно во всех случаях, когда математик работает с пересчетом своих объектов. Более того, так как физик использует лишь тот аппарат, который предлагает ему математика, то абсолютная

¹⁾Напомним, что физики-теоретики, начиная с Э. Маха, ставили вопрос: почему пространство 3-мерно? Предпринимались попытки дать физическое обоснование геометрической аксиомы 3-мерности пространства (4-мерности пространства-времени).

власть натурального ряда распространяется и на физику и — через посредство числовой прямой — предопределяет в значительной степени возможности физических теорий... Быть может, положение с натуральным рядом в настоящее время имеет смысл сравнивать с положением евклидовой геометрии в XVIII в., когда она была единственной геометрической теорией, а потому считалась некой абсолютной истиной, одинаково обязательной и для математиков, и для физиков. Считалось само собой понятным, что физическое пространство должно идеально точно подчиняться евклидовой геометрии (а чему же еще?). Подобно этому мы считаем сейчас, что пересчеты как угодно больших расстояний в физическом пространстве и т. п. должны подчиняться существующим схемам натурального ряда и числовой прямой (а чему же еще?)» [140].

П. К. Рашевский поставил ряд вопросов и высказал гипотезы относительно обобщений координатного пространства, построенного на основе иной аксиоматики арифметики, а в работах В. Л. Рвачева (см. [141]) было показано, что изменения в представлениях о свойствах натурального ряда уже воплощены в физике в виде закономерностей специальной теории относительности. Основные результаты его работ касаются не координатного пространства, а пространства скоростей (или импульсного пространства).

Как известно, в множестве вещественных чисел определены две групповые операции: сложения (и обратной — вычитания) и умножения (и обратной — деления). При обычном понимании этих операций их многократное применение приводит к появлению неограниченно больших чисел. Оказывается, можно так изменить определения групповых операций, что в принципе не смогут появиться числа, большие некоторого предельного числа c .

В. Л. Рвачев разработал арифметику с такими свойствами. При этом пришлось переопределить операции сложения и умножения. Новая операция сложения \oplus (вычитания \ominus) двух чисел x и y определяется через привычные операции сложения и умножения следующим образом

$$x \oplus y = \frac{x + y}{1 + \alpha^2 xy} \rightarrow x \ominus y = \frac{x - y}{1 - \alpha^2 xy}, \quad (2.6.1)$$

где $\alpha = 1/c$. В этой операции сразу же можно усмотреть проявление релятивистского закона сложения скоростей (2.3.7). По этой причине операция (2.6.1) была названа *релятивистским сложением (вычитанием)*. Она удовлетворяет всем привычным групповым свойствам, т. е. определенные в (2.6.1) операции являются обратными и удовлетворяют свойствам коммутативности ($x \oplus y = y \oplus x$), ассоциативности, для них имеется пуль с обычными свойствами, но, главное, в результате релятивистских сложений не появляются числа, большие $c = \alpha^{-1}$.

В специальной теории относительности фактически ограничиваются одной операцией релятивистского сложения, тогда как в новой арифметике определена и вторая операция — *релятивистское умножение (деление)*, — которая является коммутативной, обладает свойством ассоциативности, для нее определена обратная операция и имеется единица с обычными свойствами.

В рамках релятивистской арифметики [141] были определены известные функции: степенная, экспоненты, логарифмы, тригонометрические и другие. Более того, в теории, опирающейся на релятивистскую арифметику, вводятся специфические *релятивистские производные и интегралы*, обладающие свойствами соответствующих операций в общепринятом математическом анализе.

Отметим, что в современной физике пока не нашла применение в полном объеме развитая Рвачевым релятивистская арифметика. Возможно, это будет сделано в будущем. Для физики (точнее, для метафизики) важное значение имеет сам факт существования релятивистской арифметики. «Классическому случаю, — отмечает В. Л. Рвачев, — соответствует значение $\alpha = 0$, и только в этом случае возникает в математике бесконечность. Выходит, что появлению этой (потенциальной) бесконечности математика обязана именно «рукам человеческим», или точнее, — пальцам, с помощью которых люди научились считать. В принципе же, как это следует из приведенных результатов, для построения математики (впрочем, мы вправе говорить только о прикладной математике) допустимы, как мы видим, и другие пути, без бесконечности с порождаемыми ею парадоксами и различного рода монстрами. Прав был П. К. Рашевский, когда выступал против догматического взгляда на натуральный ряд. Что же касается ответа на вопрос, к каким последствиям для физических теорий может привести разрушение «монопольного положения натурального ряда», то его должны дать физики» [141].

В последних работах В. Л. Рвачева была предпринята попытка применить новую арифметику к координатному пространству и на этой основе дать иную интерпретацию известных наблюдений по космологическому красному смещению в спектрах излучения от далеких астрофизических объектов.

2. В теоретико-полевом и реляционном мирониманиях во главу угла ставятся не вещественные, а **комплексные числа**, т. е. существенно меняется характер метрических аксиом. Такое изменение аксиоматики означает отказ от аксиомы Архимеда (о сравнении отрезков), поскольку в поле комплексных чисел теряется понятие большеменьше. Комплексная метрика используется в бинарной геометрофизике (см. часть 5).

3. В геометрическом миропонимании кроме топологии пространства-времени Минковского используются **топологии** сферы, тора, цилиндра. В теориях Калуцы—Клейна изменяется аксиома размерности. (Такие геометрии будут рассмотрены в третьей части книги.)

4. В литературе широко обсуждались идеи **дискретного пространства-времени** (см. [39]), связанные с отказом от топологических аксиом континуальности. Отметим, что в вопросе о делимости пространства-времени имеются три точки зрения.

- 1) *Пространство и время (вместе или раздельно) делятся до бесконечности.* Эта позиция лежит в основе представлений о непрерывном пространстве-времени и широко используемого в физике математического аппарата дифференциального и интегрального исчисления.
- 2) *Имеется предел делимости пространства-времени.* Отсюда следуют идеи о дискретности или о квантовании пространства-времени. Обсуждалось несколько вариантов теорий такого типа:
 - а) физические теории в рамках ячеистого пространства (или пространства-времени);
 - б) теория пространства (времени) с минимальной длиной (физические теории с максимальным импульсом);
 - в) теории квантованного пространства-времени, где координаты заменяются операторами (например, теория Спайдера).
- 3) *Макроскопический подход к природе пространства-времени,* согласно которому понятие классического пространства-времени теряет смысл в микромире, где имеют место принципиально иные закономерности, из которых привычные пространственно-временные представления возникают лишь при переходе к достаточно массивным (классическим) объектам.

В бинарной геометрофизике (см. ч. 5) использована именно третья точка зрения на природу классического пространства-времени.

Опираясь на изложенное, можно говорить о редукционистском подходе к категории пространства-времени по нескольким позициям. Придерживаясь терминологии Аристотеля, выделим редукционизм по сущности, по качеству и по количеству. *Редукционизм по сущности* соответствует рассмотренному выше выделению из категории пространства-времени примитивов и блоков аксиом. К *редукционизму по качеству* можно отнести разделение геометрий пространства-времени по разным видам: евклидова геометрия, геометрия Лобачевского, риманова геометрия и т. д. Этот вопрос более подробно рассмотрен во второй части. Наконец, *редукционизм по количеству* соответствует делению всего пространства-времени на области, подобласти, окрестности. Очевидно, представления о частных видах геометрий и о характере делимости заложены в используемой аксиоматике.

2.7. Архитектура математики

Поскольку геометрия представляется одним из разделов математики, здесь естественно также затронуть вопрос о метафизике математики. В связи с этим заметим, что можно было бы написать «Метафизику», опираясь не на физику, а на математику, причем эта книга, возможно, имела бы аналогичную структуру. Поскольку это должно входить в компетенцию профессиональных математиков, ограничимся здесь лишь краткими замечаниями, опираясь на известный труд французских авторов, работавших под именем Николы Бурбаки и ставивших перед собой цель изложить под единым углом зрения математику середины XX в.

Подобная книга должна была бы также начинаться с главы, посвященной зарождению математики в античности и развитию ключевых математических категорий с древности до нового времени. Н. Бурбаки предвидели возможность такого исследования, однако устранились от углубления в метафизику: «Мы бы зашли слишком далеко, если бы от нас потребовали проследить те превратности судьбы, которым подвергалась унитарная концепция математики от пифагорейцев до наших дней. Кроме того, это — работа, к которой более подготовлен философ, чем математик, так как общей чертой всех попыток объединить в единое целое математические дисциплины — все равно, идет ли речь о Платоне, о Декарте или Лейбнице, об арифметизации или логистике XIX в., — является то, что они делались в связи с какой-либо более или менее претенциозной философской системой, причем исходным пунктом для них всегда служили априорные воззрения на отношения между математикой и двойной действительностью внешнего мира и мира мысли» [16, с. 246]. Здесь фактически признано, что для развития общих представлений о мире как в прошлом, так и в настоящем, как со стороны философии, так и со стороны математики или физики необходим синтез всех названных (и неназванных) дисциплин.

Бурбаки пошли по пути автономного обсуждения математики без учета философии или физики, но тем не менее обнаружили в основаниях математики (в «архитектуре математики») проявление все той же троичности. Они явно выделили три типа математических структур (три вида отношений), названных порождающими структурами (*les structures-mères*):

1. «То отношение, которое фигурирует в групповых структурах, называют «законом композиции»; это такое отношение между тремя элементами, которое определяет однозначно третий элемент как функцию двух первых. Когда отношения в определении структуры являются «законами композиции», соответствующая структура называется *алгебраической структурой*» [16, с. 252].

2. «Другой важный тип представляют собой структуры, определенные *отношением порядка*; на этот раз это — отношение между двумя элементами x , y , которое чаще всего мы выражаем словами « x меньше или равно y ». (...) Здесь больше не предполагается, что это отношение однозначно определяет один из элементов x , y как функцию другого» [16, с. 252].
3. К третьему типу структур отнесены *топологические структуры* (или топология). «В них находят абстрактную математическую формулировку интуитивные понятия окрестности, предела и непрерывности, к которым нас приводит наше представление о пространстве» [16, с. 253].

Математический мир в целом предлагается строить на основе концепции иерархии названных структур, идя от простого ядра из порождающих структур к сложному. «За пределами этого первоначального ядра появляются структуры, которые можно было бы назвать *сложными* (*multiples*) и в которые входят одновременно одна или несколько порождающих структур, но не просто совмещенные друг с другом (что не дало бы ничего нового), а органически *скомбинированные* при помощи одной или нескольких связывающих их аксиом» [16, с. 255]. Называются отдельные разделы математики с указанием порождающих их структур; например, топологическая алгебра и алгебраическая топология возникают из соединения топологической и алгебраической структур. «Соединение структуры порядка и алгебраической структуры точно так же изобилует результатами, приводя, с одной стороны, к теории делимости идеалов, а с другой стороны — к теории интегрирования и к спектральной теории операторов, где точно так же топология играет свою роль. (...) Именно таким образом получают теории классической математики: анализ функций действительной и комплексной переменных, дифференциальную геометрию, алгебраическую геометрию, теорию чисел. Но они теряют свою былую автономность и являются теперь перекрестками, на которых сталкиваются и взаимодействуют многочисленные математические структуры, имеющие более общий характер» [16, с. 256].

Можно было бы пояснить сказанное также с помощью некоего (теперь математического) куба, построенного на трех осях, соответствующих порождающим математическим структурам, можно классифицировать разделы математики по их принадлежности к одной из восьми метафизических парадигм и ввести, как и прежде, три видения математического мира.

Можно утверждать, что в математике проявляется одна и та же метафизика, что и в физике. Принцип фрактальности позволяет установить соответствие математических порождающих структур с физи-

ческими категориями: структуру отношений следует соотнести с категорией частиц, алгебраическую структуру — с категорией полей переносчиков взаимодействий, а топологическую структуру — с категорией пространства-времени.

Бурбаки пришли к близкому выводу: «Аксиоматический метод показал, что истины, из которых хотели сделать средоточие математики, являются лишь весьма частным аспектом общих концепций, которые отнюдь не ограничивают свое применение этим частным случаем. В конце концов, это интимное взаимопроникновение, гармонической необходимости которого мы только что восхищались, представляется не более чем случайным контактом наук, связи между которыми являются гораздо более скрытыми, чем это казалось *a priori*» [16, с. 258].

Иной подход к основаниям математики и формальных логических систем представлен в книге С. К. Клини «Введение в метаматематику» [83], где математика «отрывается» от физики и какого-либо материального носителя. Как пишет автор: «метаматематика должна изучать формальную систему как систему символов и т. п., которые рассматриваются совершенно объективно. Это означает попросту, что символы и т. п. не должны использоваться для обозначения чего-либо отличного от них самих. Метаматематика смотрит на них, а не через них, и не на то, что за ними; таким образом, они являются предметами без интерпретации или значения» [83, с. 62].

Характерно, что метаматематика Клини также опирается на систему из трех категорий. Первую категорию образуют *формальные символы* ($\exists, \forall, \&, =, \dots$), вторую категорию составляют *формальные выражения* (конечные последовательности формальных символов), а третью — конечные последовательности формальных выражений.

Общие метафизические принципы, лежащие в основаниях как физики, так и математики, в той или иной мере проявились в дискуссиях математиков о предмете их деятельности и о соотношении математики и физики. В качестве примера можно назвать статью В. И. Арнольда с характерным названием «Математика и физика: родитель и дитя или сестры?» [4]. Еще раньше об общих корнях физики и математики (геометрии) писал Б. Риман в мемуаре «О гипотезах, лежащих в основании геометрии» [143].

Поля переносчиков взаимодействий

На рубеже XIX и XX вв. категория пространства (точнее, пространства-времени) была очищена от понятия эфира как особой материальной среды, заполняющей его и передающей взаимодействия от одних тел к другим. Однако при этом была введена новая категория — полей переносчиков взаимодействия, распространяющихся по пространству (в пространстве-времени).

В 30-е годы Я. И. Френкель описал процесс сначала введения, а потом постепенного освобождения физики в XIX в. от множества богов-эфиров и замены их к концу века на единого физического бога-эфира. В XX в. уже на новой основе фактически повторилась квазирелигиозная история, только теперь в дополнение к электромагнитному и гравитационному полям вместо множества богов-эфиров вводились новые поля слабых (Z -бозонные, W -бозонные поля) и сильных (глюонные поля) взаимодействий. В XX в. наблюдался процесс их слияния, как ожидалось, в поле единой теории физических взаимодействий. Физики-теоретики трудились над созданием теории великого объединения — нового «физического бога» полевой природы.

3.1. Концепция близкодействия

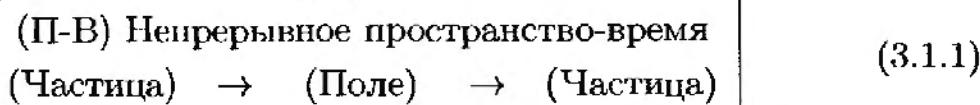
Концепция близкодействия предполагает наличие непрерывного пространства-времени и означает, что взаимодействие между частицами (телами) осуществляется либо через непосредственный контакт, либо, если они разнесены в пространстве, переносится полями-посредниками от одной частицы к другой через все промежуточные точки.

Концепция близкодействия в рамках триалистической метафизической парадигмы была достаточно четко выражена в ряде книг и учебников первой четверти XX в., когда еще в науку не вошли идеи и принципы квантовой механики. Так О. Д. Хвольсон в начале 20-х гг. писал: «Современная наука противится мысли о дальнодействии; считает невозможным, чтобы какое-либо тело действовало там, где оно само не

находится, и заменила дальнодействие близкодействием, при котором всякое действие может быть произведено только в ближайшем соседстве с источником этого действия. Передаваясь в пространстве от точки к точке, оно может обнаружиться и на любом расстоянии от своего первоисточника» [185, с. 160].

В данном миропонимании обязательно присутствуют все три физические категории: «Пространство, окружающее тело М, называется электрическим полем, и мы говорим, что в каждой его точке фактически (реально) существует определенное «напряжение поля», которое и есть непосредственная причина возникновения движущей силы, действующей на заряд, помещенный в данной точке» [185, с. 161].

Другими словами, тела, являющиеся источниками полей, возбуждают их в своей непосредственной окрестности. Распространяясь от одной частицы к другой, поля последовательно проходят все точки пространства между ними. Частицы воспринимают воздействие со стороны других частиц через поля, достигающие их окрестности. Таким образом, концепция близкодействия может быть представлена следующей принципиальной блок-схемой:



Три ключевые физические категории триалистической парадигмы, обозначенные в этой блок-схеме, полагаются в значительной степени независимыми. Во всяком случае, можно рассматривать пустое пространство-время, допустимо рассмотрение полей как независимой сущности (в пространстве-времени) и отдельно свободных (невзаимодействующих) частиц.

На рубеже 20-х – 30-х гг. в нашей стране состоялся ряд диспутов по вопросу выбора между концепциями близкодействия и дальнодействия. Значительное число ведущих физиков-участников диспута выступали за концепцию близкодействия. Так, один из основных ее сторонников В. Ф. Миткевич утверждал: «Есть какой-то физический посредник между двумя взаимодействующими физическими центрами! Отрицать наличие физического посредника может только математик, он имеет на это полное право, это ему иногда удобно, физик же не имеет права это делать, рассуждая о том, что происходит в действительности. Я уже говорил, что если так поступает физик, то приходится, к сожалению, констатировать, что он при этом прибегает к каким-то *нефизическим* факторам» [180, с. 139]. К аналогичным взглядам склонялся А. Ф. Иоффе: «В случае электромагнитных явлений гораздо удобнее исходить из первичного магнитного потока и мало интересоваться тем, как этот поток был создан этими зарядами ионов и электронов. Здесь

всего удобнее говорить о поле, потому что оно есть активное и вызывающее все дальнейшее» [180, с. 35]. Близкую позицию высказывали Д. А. Рожанский [180, с. 95] и В. К. Лебединский [180, с. 32].

Однако сторонники данного миропонимания не могут игнорировать законный вопрос, который беспокоил исследователей на протяжении нескольких столетий. Если допустить «нечто реальное, существующее в данной точке пространства, (...) то является второй вопрос, на который наука пока еще бессильна дать ясный и исчерпывающий ответ: что же представляет из себя напряжение поля, вызванное наличием электронов (покоящихся или движущихся), имеющее в каждой точке пространства определенную величину и определенное направление, и оказывающееся непосредственной причиной возникновения движущих сил, когда в эту точку поместить соответствующий объект, т. е. заряд, магнит или электрический ток? Какие изменения были вызваны в пространстве наличием покоящихся или движущихся электронов? Выражаясь проще: в чем заключен механизм возникновения напряжения полей, или, еще проще, что такое напряжение поля? На этот вопрос пока ответа нет. Наличность напряжения поля есть факт, который неопровергимо доказывается возникновением движущих сил при только что упомянутых условиях, если, конечно, мы отказываемся допустить возможность дальнодействия» [180, с. 162]. Последняя фраза для нас особенно важна, если иметь в виду концепцию дальнодействия, рассматриваемую в части IV этой книги.

В течение длительного времени пытались найти ответ на поставленный вопрос на основе гипотезы эфира.

3.2. «Мистика мирового эфира»

Оформлению физических представлений о мире на основе трех физических категорий (пространства-времени, частиц и полей переносчиков взаимодействий) предшествовал процесс избавления от мифической категории эфира. Любопытные соображения об этом процессе метафизического характера можно найти в статье одного из крупнейших отечественных физиков-теоретиков первой половины XX в. Я. И. Френкеля «Мистика мирового эфира»: «Мистицизм, т. е. вера в сверхъестественное, наименее уместен, казалось бы, в естественных науках. В действительности, однако, не только биология, но и физика не вполне свободны от мистических элементов. В области физических наук очагом, или средоточием, мистицизма является, по нашему мнению, понятие мирового эфира. Это понятие до сих пор многими учеными рассматривается как основание физического строения мира. В этом смысле роль эфира вполне сравнима с ролью божества в религиозном понимании Вселенной. Можно без преувеличения сказать, что для фи-

зиков и натурфилософов старой школы эфир является тем же, чем божество для верующих. Сравнение развития эволюции этих понятий выявляет поразительное сходство между ними – сходство, доходящее порой до тождества» [179, с. 136].

В своей работе Френкель напомнил, что с давних времен человеческому разуму было свойственно создавать абстракции из свойств природных явлений и отношений между людьми, отделять их от этих явлений и затем персонифицировать их в виде сверхъестественных существ. Именно так возникли представления о языческих богах, действиями которых человек объяснял явления окружающего мира. По мере интеллектуального развития общества число богов уменьшалось, и на определенном этапе языческая религия сменилась верой в единого Бога.

Нечто аналогичное происходило и в физике. Френкель проследил аналогию между эволюцией религий и развитием представлений физиков об эфире. В естествознании прошлого различалось несколько видов эфира. Одним эфиром объяснялось распространение световых волн (световой эфир), другим эфиром — передача электростатических взаимодействий между заряженными телами, третьим эфиром описывались магнитные взаимодействия. «Все эти особенные вещества относились к обычным примерно так же, как первобытные боги к обыкновенным людям. Но, подобно тому, как по мере развития анимистического мировоззрения все эти боги были вынуждены уступать место единому Богу, поглотившему или подчинившему их всех, точно так же, по мере развития физической концепции мира, различные «божественные вещества» были отчасти вытеснены, отчасти поглощены одним из них — световым эфиром Гюйгенса» [179, с. 137].

Следует отметить, что в ряде вузовских учебников по (общей) физике представления Гюйгенса о световом эфире начала XVIII в. до сих пор характеризуются как одно из важнейших достижений в науке. Достаточно вспомнить, как излагаются законы отражения и преломления света или как объясняются законы дифракции и интерференции световых волн на решетках, чтобы увидеть, что они опираются на световой эфир Гюйгенса, основанный на аналогиях между световыми и звуковыми явлениями. «Новое божественное вещество, открытое или, вернее, изобретенное Гюйгенсом, отличалось от обыкновенных упругих тел лишь своей невидимостью и невесомостью, а также и более тонким строением, позволявшим частицам эфира внедряться в промежутки между частицами весомой материи» [179, с. 138]. Большой вклад в развитие теории эфира Гюйгенса внес в первой четверти XIX в. французский ученый Огюстен Жан Френель. Даже школьникам известны формулы и зоны Френеля.

«Однако развитие идеи эфира не остановилось на этом «световом» этапе. Из малого бога, светового Меркурия физического Олимпа, ему

суждено было превратиться в великого и единого Бога, не только наполняющего, но и составляющего собой материальную Вселенную» [179, с. 139]. Это произошло во второй половине XIX в., главным образом благодаря работам Фарадея и Максвелла. Физики отказались от таинственных флюидов Кулона, ответственных за передачу электрических взаимодействий, отказались также от божественной магнитной субстанции, передающей магнитное взаимодействие. Было установлено родство электрических и магнитных взаимодействий и далее единство электромагнитных и световых явлений. Фарадей пришел к выводу, что электромагнитные взаимодействия передаются через световой эфир. Стало ясно, что свет представляет собой электромагнитные волны. Качественные соображения Фарадея были переработаны Максвеллом в стройную теорию электромагнитного поля.

По этому поводу Френкель писал: «Так или иначе, превратившись из передатчика световых явлений в средоточие явлений электромагнитных, поглотив электрические и магнитные субстанции, а вслед за ними и обыкновенную материю, эфир становится тем самым единственной материальной основой Вселенной. «Пространством бесконечный, теченьем времени предвечный» мировой эфир получил все атрибуты единого Бога, который «все собою заполняет, объемлет, зиждет, составляет» и которого, кстати сказать, «никто постичь не мог»¹⁾. Ибо, как мы сейчас увидим, новые свойства эфира, вытекающие из его электромагнитных функций, совершенно не поддавались последовательной механической интерпретации. Установив культ мирового эфира как материального вседержителя, физика превратилась в учение об эфире, в своего рода теологию, которая обратила все свои усилия к согласованию и взаимному примирению различных свойств этого особого божества» [179, с. 141].

Главным противоречием в теории эфира Фарадея—Максвелла являлась несовместимость его механических свойств с рядом требований, необходимых для описания электромагнитных явлений. Так, например, для описания поперечного характера электромагнитных волн эфир следовало наделить твердотельными свойствами. С другой стороны, для описания вихревых движений эфира, нужных для объяснения магнетизма, эфир следовало наделить свойствами жидкости. Имелись и другие трудности, все попытки преодоления которых потерпели неудачу. В конце прошлого века выход из этого противоречия представлялся в принятии новой теории — теории эфира Лоренца, в которой понятие эфира очищалось от лишних механических свойств. Фактически постулировался своеобразный «принцип невмешательства» механических свойств эфира в электромагнитные явления. На движение заряженных

¹⁾Здесь в кавычках заключены фразы из стихотворения Г. Р. Державина «Бог».

материальных объектов эфир никак не влиял. Он полагался неподвижным и выполнял лишь роль посредника в описании взаимодействий между заряженными частицами.

По этому поводу Я. И. Френкель писал: «И подобно просвещенным атеистам нашего времени, отвергнувшим живого бога своих предков и погруженным в мистическое созерцание нового «нейтрального» бога, которому до них нет никакого дела и до которого, в сущности говоря, им также нет никакого дела, современные физики заменили конкретный и вещественный эфир мифической туманностью, ничем по существу не отличающейся от *неподвижного пустого пространства*, которым в свое время оперировал Ньютона (курсив Ю. В.)» [179, с. 144]. Обратим особое внимание на вывод, согласно которому эфир Лоренца — своеобразный бог в физике — оказался тождественным с физической категорией (ニュтонова) пространства.

Но представления Лоренца об эфире недолго продержались в науке, так как довольно быстро вскрылись их противоречия с законами природы. Так, важнейшим свойством эфира Лоренца была его неподвижность, из которой следовало, что, измеряя скорость света, распространяющегося относительно эфира в различных направлениях, можно найти абсолютную скорость движения Земли относительно эфира. Однако опыты Майкельсона, а затем и другие эксперименты дали отрицательный результат. Свет распространяется по всем направлениям с одной и той же скоростью, т. е. на наблюдаемую скорость не влияет ни движение Земли вокруг Солнца, ни движение самого Солнца вместе с планетами в мировом пространстве. «При таких условиях неподвижный эфир Лоренца совершенно утрачивает всякий физический смысл и вместе с тем всякое право на дальнейшее существование. Из «всего», чем он представлялся в эпоху расцвета теории Максвелла, он катастрофическим образом и вместе с тем почти незаметно, благодаря неизменности своего названия, превратился в «ничто», в синоним *пустого пространства* (курсив Ю. В.)... Эфир оказался не фундаментом величественного здания современного электромеханического мировоззрения, а теми «лесами», которые были необходимы при его возведении и которые убираются долой по окончании постройки» [179, с. 146]. Отсюда Френкель сделал вывод, что наступила эра физического атеизма.

Однако эволюция представлений об эфире и пространстве-времени на этом не закончилась. Развитие теории относительности в XX в. позволяет утверждать, что роль эфира фактически взяло на себя пространство-время, очищенное от всех наслоений эфира прошлых лет, но при этом самостоятельный характер получила новая физическая категория поля переносчиков взаимодействий на фоне непрерывного пространства-времени.

3.3. Классические поля

Под классическими полями будем понимать издавна известные электромагнитное и гравитационное поля, медленно убывающие с расстоянием в отличие от полей переносчиков взаимодействий в физике микромира, имеющих короткодействующий характер.

3.3.1. Электромагнитное поле

Электромагнитное взаимодействие лежит в основе большинства процессов окружающего нас мира — от масштабов нашей планеты до атомов и молекул. Именно благодаря ему материя связана в вещество и тела. Видимо, не будет преувеличением утверждать, что классические пространственно-временные представления самым непосредственным образом обусловлены электромагнитным взаимодействием.

Теория электромагнитных взаимодействий представляет собой объединенную в XIX в. теорию электрических и магнитных взаимодействий. Дж. Максвелл в свое время мог бы сказать в духе известного заявления Г. Минковского: «Милостивые господа! Воззрения на электростатические и магнитные взаимодействия, которые я намерен перед вами развить, возникли на экспериментально-физической основе. В этом их сила. Их тенденция радикальна. Отныне электростатическое взаимодействие само по себе и магнитное взаимодействие само по себе должны обратиться в фикции, и лишь некоторый вид соединения обоих должен сохранить самостоятельность». Следует подчеркнуть, что заявление Г. Минковского об объединении пространства и времени стало возможным только после слияния двух взаимодействий, казавшихся независимыми, в единое электромагнитное взаимодействие. Это произошло во второй половине XIX в., когда в работах Г. Герца и других ученых была доказана электромагнитная природа света, а затем благодаря исследованиям М. Фарадея и Дж. Максвелла были открыты уравнения электромагнитного поля, носящие в настоящее время имя Максвелла.

Фундаментальные уравнения физики, такие как уравнения Максвелла, не выводятся, а открываются и становятся постулатами теории. «Мы открыли текст, написанный рукой Бога!» — так выразил свое отношение к этим уравнениям Герц.

Уравнения Максвелла всем хорошо известны и могут быть представлены в различных формах.

1. В наиболее простом виде, подчеркивающем их волновой характер, они записываются для 4-мерного векторного потенциала A_α :

$$\eta^{\mu\nu} \frac{\partial^2 A_\alpha}{\partial x^\mu \partial x^\nu} = \frac{4\pi}{c} j_\alpha, \quad (3.3.1)$$

где $\eta_{\mu\nu}$ — метрический тензор пространства-времени Минковского (в декартовых координатах), j_α — плотность 4-мерного тока (частиц) источников поля. Компоненты электромагнитного векторного потенциала определены неоднозначно, на них накладываются дополнительные условия Лоренца, соответствующие поперечности электромагнитного излучения:

$$\frac{\partial A^\alpha}{\partial x^\alpha} = 0. \quad (3.3.2)$$

Заметим, что векторный характер электромагнитного потенциала в специфическом виде отражает 4-мерность пространства-времени. Отметим также, что в самом общем виде релятивистски инвариантные волновые уравнения для других полей, описываемых потенциалами B_M , где M — обобщенный индекс, характеризующий компоненты поля, представляются в аналогичном виде

$$\eta^{\mu\nu} \frac{\partial^2 B_M}{\partial x^\mu \partial x^\nu} = \frac{4\pi}{c} J_M, \quad (3.3.3)$$

где J_M — источник соответствующего поля. Проще всего это уравнение записывается для скалярных полей (без индексов).

2. Уравнения электромагнитного поля (3.3.1) чаще представляются в иной форме — в виде системы дифференциальных уравнений первого порядка для напряженностей электромагнитного поля

$$F_{\mu\nu} = \frac{\partial A_\nu}{\partial x^\mu} - \frac{\partial A_\mu}{\partial x^\nu}. \quad (3.3.4)$$

В тензорной форме система уравнений Максвелла записывается в виде

$$\frac{\partial F_{\mu\nu}}{\partial x^\lambda} + \frac{\partial F_{\nu\lambda}}{\partial x^\mu} + \frac{\partial F_{\lambda\mu}}{\partial x^\nu} = 0; \quad (3.3.5)$$

$$\frac{\partial F^{\mu\nu}}{\partial x^\nu} = \frac{4\pi}{c} j^\mu. \quad (3.3.6)$$

Это первая и вторая пары уравнений Максвелла. Легко убедиться, что первая пара (без источников) выполняется тождественно, если в (3.3.5) подставить определение напряженностей через векторные потенциалы согласно (3.3.4). Вторая пара (3.3.6) при учете (3.3.2) совпадает с (3.3.1).

3. Более широко известно описание электромагнитного поля через 3-мерные напряженности электрического \vec{E} и магнитного \vec{H} полей. Уравнения Максвелла в 3-мерной форме представляются в виде двух пар уравнений: векторного и скалярного. Первая пара уравнений Максвелла записывается в виде:

$$rot \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}; \quad div \vec{H} = 0, \quad (3.3.7)$$

а вторая пара уравнений Максвелла представляется в аналогичной форме:

$$\text{rot} \vec{H} = \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{4\pi}{c} \vec{j}; \quad \text{div} \vec{E} = 4\pi\rho. \quad (3.3.8)$$

В ряде ситуаций можно выбрать такую систему отсчета, в которой будут отличны от нуля только компоненты напряженности электрического поля. Переход в движущуюся систему отсчета приводит к появлению напряженности магнитного поля. В этом смысле иногда говорят, что магнитное поле представляет собой релятивистские поправки к электрическому полю.

4. Легко убедиться, что компоненты тензора $F_{\mu\nu}$ можно представить в виде 4×4 -матрицы из компонент 3-мерных напряженностей:

$$F_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 0 & E_1 & E_2 & E_3 \\ -E_1 & 0 & H_3 & -H_2 \\ -E_2 & -H_3 & 0 & H_1 \\ -E_3 & H_2 & -H_1 & 0 \end{pmatrix}, \quad (3.3.9)$$

где $E_k = F_{0k}$ — 3-мерный вектор напряженности электрического поля и $H_1 = F_{23}$, $H_2 = F_{31}$, $H_3 = F_{12}$ компоненты напряженности магнитного поля.

Чаще теория электромагнитных взаимодействий излагается в обратном порядке, т. е. начинают с нерелятивистских выражений и постепенно восходят к релятивистским как к некоему венцу, как бы упрощающему запись всех соотношений. Излагаемый здесь подход соответствует пониманию пространства-времени как единой категории, что диктует использование релятивистски инвариантных исходных выражений и, в случае надобности, спуск от них к 3-мерным понятиям в той или иной системе отсчета.

3.3.2. Гравитационное поле

Во Введении уже называлась *дуалистическая парадигма геометрического миропонимания*, где категории (плоского) пространства-времени и полей переносчиков взаимодействий объединяются в рамках обобщенной категории — искривленного пространства-времени. Первым примером теории такого рода явилась общая теория относительности Эйнштейна, где было геометризовано гравитационное поле. Геометрические теории обсуждены в третьей части книги, однако имеется возможность описывать гравитационное поле и в рамках других парадигм, в частности триалистической. При этом всякий раз проявляются особенности гравитационного взаимодействия, выделяющие его из ряда других видов взаимодействий, причем оказывается, что за отдельными математическими особенностями: числом компонент поля, нелинейностью, —

кроются концептуальные проблемы метафизического характера. Рассмотрим описание гравитационного поля в рамках триалистической парадигмы.

Гравитационное взаимодействие — «сила, что движет мирами» — доминирует в управлении поведением массивных объектов, когда оказываются уравновешенными электрические и другие свойства отдельных частиц. В частности, оно господствует в астрономических масштабах: от планет Солнечной системы и выше — вплоть до управления эволюцией всей Вселенной. В микромире вклад гравитации слишком мал по сравнению с другими тремя видами взаимодействий.

Как известно, закон всемирного тяготения Ньютона между двумя телами с массами m_1 и m_2

$$F_{grav} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} = m_1 \frac{\partial \varphi}{\partial r} \quad (3.3.10)$$

можно вывести с помощью уравнения Лапласа для скалярного гравитационного потенциала с источником

$$\eta^{ij} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^i \partial x^j} \equiv \nabla^2 \varphi = 4\pi G \rho, \quad (3.3.11)$$

где ρ — плотность материи, η^{ij} — метрический тензор 3-мерного евклидова пространства, $G = 6,67 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$ — ньютонова гравитационная постоянная. Данное уравнение совпадает с уравнением (3.3.3) для случая скалярного поля φ , не зависящего от времени (для статического поля).

Отметим, что закон для электростатических взаимодействий двух зарядов q_1 и q_2

$$F_{el} = \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (3.3.12)$$

был записан Ш. О. Кулоном по образу и подобию ньютонова закона всемирного тяготения (3.3.10). Позже история физики развивалась в обратном направлении: сначала теория поля была развита для электромагнитного взаимодействия и лишь затем была построена теория гравитационного поля (в разных вариантах).

Сразу же после создания специальной теории относительности А. Планка записал релятивистское обобщение уравнения (3.3.11) для скалярного поля, которое имеет вид (3.3.3). В дальнейшем анализ показал, что теория гравитации, описываемая одним скалярным потенциалом φ , противоречит наблюдаемым данным — дает неверные значения для угла отклонения лучей света, проходящих вблизи Солнца, и для смещения перигелия Меркурия.

Возникшая в 1913–1916 гг. общая теория относительности адекватно описала названные эффекты, однако была построена на принципиально

иных основах — в рамках геометрического видения мира. На протяжении почти всего XX в. в физике имела место некоторая двойственность: гравитационное взаимодействие формулировалось в рамках геометрической парадигмы, тогда как электромагнитное и другие виды взаимодействий описывались в рамках теоретико-полевого миропонимания. Данное обстоятельство стало источником многих проблем в теоретической физике, главным образом, на путях объединения физических взаимодействий.

Объединение теорий всех взаимодействий возможно только при условии их единого основания. Имеются три пути реализации программы объединения гравитации с другими взаимодействиями: либо теорию гравитации переформулировать в традиционном духе теории поля (на фоне плоского пространства-времени), либо, наоборот, теории электрослабых и сильных взаимодействий представить в геометризованном виде (см. ч. 3), либо попытаться найти новую основу, от которой можно было бы перейти и к полевой, и к геометрической формулам (этот путь рассмотрен в пятой части). Некоторые физики-теоретики, воспитанные в русле традиционной теории поля, пошли по первому пути.

Таковым явились создание А. А. Логуновым и его сотрудниками в начале 80-х гг. XX в. так называемой релятивистской теории гравитации (РТГ), базирующющейся на следующих принципах:

- «1) Пространство Минковского (псевдоевклидова геометрия пространства-времени) есть фундаментальное пространство, общее для всех физических полей, в том числе и для гравитационного. (...)
- 2) Гравитационное поле описывается симметричным тензором второго ранга $\Phi^{\mu\nu}$ и является реальным физическим полем, обладающим плотностью энергии-импульса, нулевой массой покоя, спиновыми состояниями 2 и 0. Это положение в корне отличает РТГ от ОТО. (...)
- 3) Принцип геометризации, суть которого заключается в том, что взаимодействие гравитационного поля с веществом, в силу его универсальности, осуществляется путем «подключения» гравитационного поля $\Phi^{\mu\nu}$ к метрическому тензору $\eta^{\mu\nu}$ пространства Минковского в плотности лагранжиана по правилу

$$\tilde{g}^{\mu\nu} \equiv \sqrt{-g} g^{\mu\nu} = \sqrt{-\eta} (\eta^{\mu\nu} + \Phi^{\mu\nu}). \quad (3.3.13)$$

(...) Метрический тензор $\eta^{\mu\nu}$ пространства Минковского и тензор гравитационного поля $\Phi^{\mu\nu}$ в этом пространстве являются первичными понятиями, а риманово пространство и его метрика $g^{\mu\nu}$ — вторичными, обязанными своим происхождением гравитационному полю и его универсальному действию на вещество Φ_A . (...)

- 4) Скалярная плотность лагранжиана гравитационного поля является квадратичной формой первых ковариантных производных $D_p \tilde{g}^{\mu\nu}$ по метрике Минковского. В ОТО в принципе нельзя построить скалярную плотность лагранжиана такого рода» [100, с. 10–13].

Таким образом, в этой теории налицо все три ключевые категории: пространство-время Минковского, тензорное поле второго ранга, описывающее гравитацию, и частицы в виде материальных источников Φ_A этого гравитационного поля. Отметим, что в последнем пункте упомянута плотность лагранжиана — понятие, возникающее в рамках аналитической механики, а затем распространенное на описание полей. Исходя из вида лагранжиана, по правилам аналитической механики можно получить как уравнения, так и всю иную информацию о рассматриваемом поле. Основная задача, решенная автором этой теории, состояла в формулировке таких условий на плотность лагранжиана (п. 4), чтобы в итоге получилась теория, приводящая к тем же эффектам, что и эйнштейновская ОТО.

В сообществе отечественных физиков-гравитационистов разгорелась дискуссия по поводу релятивистской теории гравитации Логунова, в ходе которой отмечались различные частные недостатки (скорее, недоработки) этой теории: возникновение двух световых конусов, неполнота используемых координатных карт и т. д. Однако главный источник возражений состоял не в технических проблемах, — их несложно преодолеть, — а в призывае авторов заменить эйнштейновскую общую теорию относительности теорией Логунова, так как она «изменяет сложившиеся под влиянием ОТО представления о пространстве-времени, выводит нас из дебрей римановой геометрии и по духу соответствует современным теориям в физике элементарных частиц» [100, с. 13]. На этом основании Логунов призывал «отказаться от ОТО, отдав ей должное как определенному этапу в развитии наших представлений о гравитации» [100, с. 9].

Суть дискуссии имела явно метафизический характер. РТГ Логунова была естественной в рамках триалистической парадигмы, и, если строго следовать логике этой метафизической парадигмы, теория гравитационного поля должна быть представлена именно таким образом. Однако данная концепция противоречила стратегической тенденции развития физики, выражавшейся в стремлении перейти к меньшему числу категорий, и поэтому расценивалась как шаг назад — от двух категорий эйнштейновской теории гравитации к трем категориям триалистической парадигмы. РТГ Логунова, как нам представляется, не вызвала бы многих возражений, если бы трактовалась как исследование теории гравитации под иным углом зрения, а не как призыв отказаться

от геометрического миропонимания, представленного в эйнштейновской ОТО.

Следует отметить, что в рамках теоретико-полевого миропонимания имеются и другие варианты теории гравитационного поля. В частности, к ним примыкает калибровочный подход к описанию гравитации, где в основания теории также положено пространство-время Минковского.

3.4. Категория полей переносчиков взаимодействий в микромире

Согласно современным представлениям, фундаментальные физические взаимодействия в микромире — электрослабые и сильные — переносятся полями промежуточных векторных бозонов.

3.4.1. Фундаментальные физические взаимодействия

Если история представлений о гравитационном и электромагнитном взаимодействиях уходит вглубь столетий, то первые сведения о слабых и сильных взаимодействиях появились лишь после открытия радиоактивности на рубеже XIX и XX вв. На известной иллюстрации (см. рис. 3.3), приводимой во многих учебниках по общей и атомной

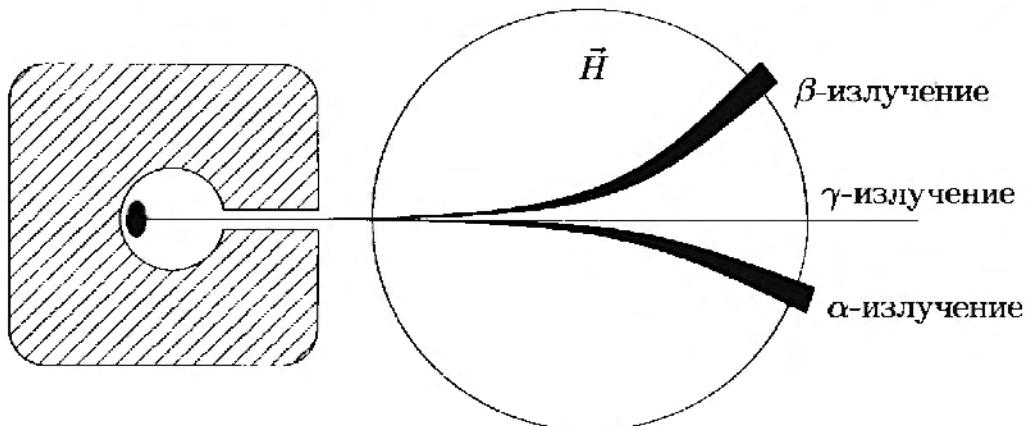


Рис. 3.1. Три вида лучей, испускаемых радиоактивными веществами

физике, поясняющей открытие радиоактивного излучения, фактически показаны проявления трех фундаментальных физических взаимодействий: γ -излучение возникает в результате электромагнитного взаимодействия, β -излучение (электроны) обусловлено слабым взаимодействием, а α -излучение — сильным. Кратко охарактеризуем слабые (электрослабые) и сильные взаимодействия и связанные с ними поля.

Слабое взаимодействие на несколько порядков слабее электромагнитного и сильного взаимодействий, но значительно сильнее гравитационного. Оно имеет универсальный характер, т. е. слабым образом

взаимодействуют все частицы, за исключением фотона (и гипотетического гравитона).

Первый процесс, обусловленный слабым взаимодействием, — радиоактивный β -распад ядер — был обнаружен А. А. Беккерелем в 1896 г. Однако факт наличия особого вида слабого взаимодействия был осознан значительно позднее. В первой половине 30-х гг. Э. Ферми создал первый вариант теории слабых взаимодействий, который описывал процесс распада нейтрона на протон, электрон и электронное антинейтрино: $n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$. В отличие от гравитационного и электромагнитного, слабое взаимодействие на значительных расстояниях не проявляется. Согласно модели Ферми, слабое взаимодействие представлялось четырехфермионным (все четыре частицы имеют спин $1/2$) и происходящим в одной точке (контактное взаимодействие).

Время жизни распадающихся слабым образом частиц колеблется от минут (время жизни нейтрона порядка 1000 с) до 10^{-10} с (время жизни гиперонов). Оно значительно по сравнению с характерным временем распада частиц в сильных взаимодействиях и является характерным признаком слабых взаимодействий.

Слабое взаимодействие играет ключевую роль в процессах энерговыделения Солнца и, следовательно, в обеспечении жизни на Земле. Благодаря слабым взаимодействиям на Солнце происходит реакция образования ядра дейтерия (d) из двух протонов ($p+p \rightarrow d+e^++\nu_e$). При этом один из протонов превращается в нейtron с испусканием позитрона (e^+) и электронного нейтрино (ν_e). Если бы можно было «выключить» слабое взаимодействие, то погасли бы как наше Солнце, так и другие звезды.

Следующий важный шаг в развитии теории слабого взаимодействия был сделан в 1957–1958 гг. независимо Р. Фейнманом и М. Гелл-Манном, с одной стороны, и Р. Маршаком и Э. Сударшаном — с другой. Ими была предложена теория, согласно которой слабое взаимодействие описывается произведением двух токов взаимодействующих частиц (т. е. выражениями вида $j_{(1)\alpha} j_{(2)}^\alpha$), каждый из которых является комбинацией векторной (V) и псевдовекторной (A) частей ($V - A$ -взаимодействие). Этим работам предшествовало открытие нарушений зеркальной и других дискретных симметрий в слабых взаимодействиях.

Взаимодействие частиц через токи навело на мысль об аналогии с электромагнитным взаимодействием, где между токами имеется поле — переносчик взаимодействия. Это поставило под вопрос прежние представления Ферми о контактном характере слабых взаимодействий, которые должны переноситься векторными массивными частицами, поскольку слабые взаимодействия обладают очень малым радиусом действия, порядка 10^{-15} см. Так как радиус определяется комптоновской длиной волны промежуточных частиц (\hbar/Mc), то их масса была оце-

нена величиной $Mc^2 \sim 100$ Гэв. Эти частицы (заряженные W^\pm -бозоны и нейтральный Z -бозон) были предсказаны в 1967–68 гг. А. Саламом и С. Вайнбергом, и только в 80-х гг. они были экспериментально обнаружены.

Теория слабых взаимодействий, сформировавшаяся на основе указанных гипотез и открытий, оказалась неразрывно связанной с теорией электромагнитных взаимодействий. Таким образом, во второй половине XX в. было сделано открытие, сравнимое с объединением электрических и магнитных взаимодействий в теорию электромагнитных взаимодействий, — была построена теория электрослабых взаимодействий. Авторы этого открытия Ш. Глэшоу, С. Вайнберг и А. Салам, получившие за него в 1979 г. Нобелевскую премию, могли бы также, вслед за Минковским, заявить: «Милостивые господа! Отныне электромагнитное взаимодействие само по себе и слабое взаимодействие само по себе должны обратиться в фикции и лишь некоторый вид соединения обоих должен сохранить самостоятельность». Но их высказывания были значительно скромнее. Так, С. Вайнберг писал: «В процессе работы я обнаружил, хотя вначале такой идеи у меня не было, что получена не только теория слабой силы, построенная по аналогии с электромагнетизмом, — оказалось, что это единая теория слабой и электромагнитной сил, которые она рассматривает как два совершенно разных аспекта того, что впоследствии было названо электрослабой силой» [17]. Точнее, этот вид соединения получил название *модель электрослабых взаимодействий Вайнберга–Салама–Глэшоу*.

Сильное взаимодействие ответственно за прочную связь нуклонов (протонов и нейтронов) в ядрах элементов (средняя энергия связи на один нуклон имеет порядок 8 Мэв). При столкновениях частиц высоких энергий сильное взаимодействие приводит к различным превращениям элементарных частиц адронов (барионов и мезонов) — к ядерным реакциям. В частности, за счет сильного взаимодействия выделяется большая часть тепла внутри Солнца, когда возникшие в результате слабого взаимодействия ядра дейтерия образуют вместе с протонами ядра гелия. Сильное взаимодействие является короткодействующим с радиусом порядка 10^{-13} см, и распады частиц, обусловленные сильным взаимодействием, характеризуются очень малым временем $10^{-23} – 10^{-24}$ с.

Важнейшими вехами в развитии теории сильного взаимодействия, наряду с обнаружением радиоактивности Беккерелем, стали открытие в 1911 г. атомного ядра Э. Резерфордом и установление в 1932 г. протонно-нейтронного строения ядра (Д. Д. Иваненко и В. Гейзенберг).

Важную роль в развитии представлений о сильном взаимодействии сыграла высказанная в 1935 г. идея Х. Юкавы о том, что переносчиком ядерных сил являются некоторые промежуточные скалярные (бессинновые) поля с ненулевой массой покоя M . Юкавский потенциал $e^{-Mer/h}/r$

быстро убывает с расстоянием r между взаимодействующими частицами. Радиус действия сил определяется комптоновской длиной волны частицы $r_0 \sim \hbar/Mc$. После открытия в самом конце 40-х гг. π -мезонов (триплета из одной нейтральной и двух заряженных частиц с массами $\sim 135 - 140$ Мэв) стали считать, что юкавскими промежуточными полями (частицами) являются π -мезоны.

В 1964 г. независимо М. Гелл-Манном и Г. Цвейгом была высказана гипотеза о кварковой¹⁾ структуре адронов (сильно взаимодействующих частиц). Постепенно представления о кварках завоевали признание. К рубежу 70-х – 80-х гг. были заложены основы теории сильных взаимодействий, названной хромодинамикой. Согласно этой теории, кварки могут быть трех цветовых зарядов, — отсюда и название теории — хромодинамика, а взаимодействия между кварками осуществляются посредством промежуточных векторных бозонов — глюонных полей восьми типов.

3.4.2. Принципы метафизики в свойствах полей переносчиков взаимодействий

Теория полей переносчиков взаимодействий развита в рамках калибровочной теории физических взаимодействий теоретико-полевого миропонимания. Об этом речь пойдет в следующей части книги. Здесь же, забегая вперед, отметим ряд метафизических аспектов полученных результатов, главным образом, — проявления метафизического принципа тринитарности.

1. Прежде всего, проявления принципа тринитарности можно усмотреть уже в наличии трех видов взаимодействий — сильных, слабых и электромагнитных, — играющих важную роль в физике микромира.

2. Но наиболее рельефно принцип тринитарности (и двоичности) проявляется в наборе глюонных полей, переносящих сильные взаимодействия. Согласно калибровочной теории сильных взаимодействий — хромодинамике, — имеется 8 векторных глюонных полей, соответствующих 8 параметрам локализуемой калибровочной группы $SU(3)$. Из этих векторных полей два глюонных поля A_μ и B_μ являются нейтральными и три пары векторных полей X_μ^\pm , Y_μ^\pm и Z_μ^\pm являются (хроматически) заряженными.

Эти восемь глюонных полей, переносящих взаимодействия между кварками трех цветовых зарядов, можно сопоставить с восьмеркой древних китайских триграмм (см. рис. 3.2). При этом три пары (хроматически) заряженных глюонов X_μ^\pm , Y_μ^\pm и Z_μ^\pm соответствуют трем парам

¹⁾ Термин «кварк» позаимствован из романа ирландского писателя Дж. Джойса «Поминки по Финнегану» и означает нечто неопределенное, мистическое.

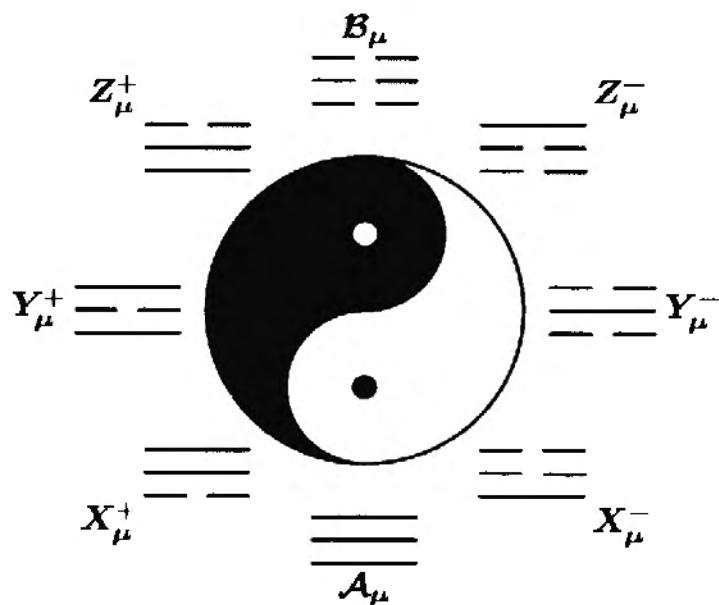


Рис. 3.2. Соответствие восьми глюонов китайской системе триграмм

смешанных триграмм, содержащих как сплошные, так и прерывистые отрезки, тогда как два нейтральных глюона A_μ и B_μ можно сопоставить с двумя триграммами, содержащими одинаковые отрезки.

3. Калибровочная модель электрослабых взаимодействий Вайнберга—Салама—Глэшоу опирается на комбинацию 1-параметрической группы $U(1)$ и 3-параметрической группы $SU(2)$, что соответствует четверке калибровочных векторных полей. Любопытно отметить, что в этой теории имеет место аналогичное расщепление четырех калибровочных полей на два нейтральных поля B_μ , $A(3)_\mu$ и на два заряженных векторных поля, описываемых потенциалами $A(1)_\mu$ и $A(2)_\mu$. Из последних двух полей строится пара электрически заряженных векторных бозонов W_μ^\pm , которые можно поставить в соответствие с одной из трех пар хроматически заряженных векторных глюонов.

В теоретико-полевом подходе глюонные поля сильных взаимодействий и бозонные поля электрослабых взаимодействий рассматриваются совершенно независимыми друг от друга. Однако указанное здесь соответствие позволяет предположить, что электрослабые взаимодействия могут оказаться результатом своеобразного усечения сильных взаимодействий. Эта гипотеза находит свое воплощение в описании взаимодействий в рамках геометрического, а также реляционного миропониманий, о чем будет идти речь в третьей и четвертой частях книги.

4. Из двух нейтральных векторных полей B_μ и $A(3)_\mu$ строятся две комбинации векторных полей: безмассовое поле A_μ , интерпретируемое как электромагнитное поле, и массивное нейтральное поле Z -бозонов. Таким образом в модели электрослабых взаимодействий Вайнберга—Салами—Глэшоу осуществляется объединение электромагнитного и слабого взаимодействий.

Отметим, что в модели электрослабых взаимодействий также можно усмотреть проявления двоичности и троичности. Так, двоичность проявляется в 2-мерности внутреннего изотопического пространства электрослабых взаимодействий, а троичность в том, что группа $SU(2)$ соответствует вращениям в трехмерном пространстве.

5. Интересно также отметить факт сохранения метафизического принципа троичности в каждом из выделенных взаимодействий. Поскольку все поля переносчиков взаимодействий являются векторными, то они несут на себе метафизические свойства пространства-времени Минковского, в метрике которого заложена двоичность в виде сигнатуры и троичность — через размерность пространства. Эти же свойства отражены и в векторном характере полей переносчиков взаимодействий.

Возвращаясь к древней китайской системе триграмм, отметим, что шесть компонент двух 3-мерных напряженностей электрического и магнитного полей можно сопоставить с шестью китайскими триграммами со смешанными отрезками. Для этого достаточно перенумеровать отрезки триграмм цифрами: 1, 2, 3 и соотнести их с тремя пространственными направлениями: x , y и z . Пусть сплошные отрезки означают соответствующие пространственные компоненты, а пунктирные означают либо отсутствие соответствующей компоненты (в случае одной такой линии в триграмме), либо времени-подобную компоненту, когда их две в триграамме. Тогда слева будут располагаться напряженности магнитного поля, а справа — электрического поля (см. рис. 3.3). В двух полюсах системы триграмм следует поместить нули.

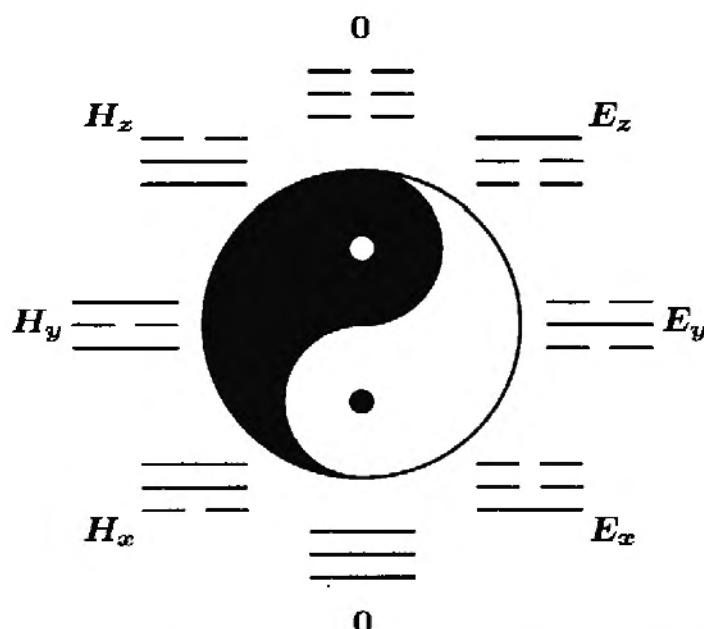


Рис. 3.3. Соответствие компонент напряженности электромагнитного поля китайской системе триграмм

Волновые уравнения можно воспринимать как некие условия вложения категорий полей в классическое пространство-время. Любопытно отметить, что для векторных полей имеет место именно восьмерка волновых уравнений. Действительно, для электромагнитного поля эти уравнения в тензорном виде записаны в (3.3.5) и (3.3.6). Уравнения с роторами можно сопоставить с триграммами, содержащими отрезки двух видов, а два оставшихся скалярных уравнения с дивергенциями — с двумя триграммами в полюсах рис. 3.3.

3.4.3. Недостатки теории поля в триалистической парадигме

Перечислим главные недостатки теории полей переносчиков взаимодействий в рамках триалистической парадигмы.

1. Напомним, что изложенный в предыдущем разделе материал основывался на результатах, полученных в рамках иной (дуалистической теоретико-полевой) парадигмы. В рамках рассматриваемой в этой части триалистической парадигмы нет достаточно веских конструктивных соображений, позволивших бы ввести весь комплекс полей, переносящих сильные и электрослабые взаимодействия. Для триалистического подхода характерна методика феноменологического введения необходимых понятий и полей непосредственно в соответствующие уравнения. В данном случае для описания явлений в физике микромира следовало бы вводить названные поля волевым образом методом проб и ошибок или опереться сразу же на метафизические соображения, приведенные выше. Однако еще раз подчеркнем, что назначение метафизики состоит не в доказательствах, а в интерпретации полученных результатов и в использовании ее при выборе направлений исследований.

2. Другой чрезвычайно существенный недостаток теории поля в триалистической парадигме проявляется при описании квантованных процессов излучения и поглощения полей. В рамках данной парадигмы поле трактуется в виде полевой материи, распределенной в пространстве. Излученная волна образует фронт, с течением времени принимающий все большие размеры. В данной парадигме процесс поглощения кванта поля означает, что весь фронт волны должен мгновенно схлопываться в приемнике излучения. Но это вступает в противоречие с теорией относительности, согласно которой невозможны движения со сверхсветовой скоростью. Этот парадокс известен как проблема «редукции волнового пакета».

Этот парадокс снимается в дуалистической парадигме теоретико-полевого миропонимания а также в реляционном подходе.

3. Нельзя забывать, что наблюдаются не три, а четыре вида фундаментальных физических взаимодействий, — имеется еще гравитаци-

онное взаимодействие. В минувшем столетии одной из принципиально важных задач теоретической физики считалось квантование гравитационного поля. С позиций данной парадигмы решение данной проблемы понималось как введение квантов гравитационного поля (гравитонов), которые, подобно квантам электромагнитного поля (фотонам) (см. [25]), также излучаются, поглощаются и превращаются в другие частицы. Однако настойчивые попытки решения этой проблемы в ожидаемом виде к успеху не привели. Полагалось, что препятствия имеют технический характер и, в частности, обусловлены нелинейностью гравитационного поля. Рассмотрение данной проблематики с позиций иных парадигм свидетельствует о том, что неудачи имеют более глубокие корни метафизического характера.

4. Анализ достижений физики элементарных частиц показывает, что более первичными следует считать три вида фундаментальных взаимодействий: электромагнитное, слабое и сильное, которые, согласно калибровочным моделям, переносятся векторными промежуточными полями. Гравитационное взаимодействие занимает особое положение — есть достаточно веские основания считать, что гравитация имеет индуцированный характер, т. е. обусловлена другими видами взаимодействий. В рамках триалистической парадигмы не видно путей решения этого вопроса, тогда как в дуалистических парадигмах открываются более широкие возможности для осмыслиения этой проблемы.

Категория частиц и принцип фрактальности



До XX в. правильнее было бы говорить о категории вещества, нежели о категории частиц, поскольку частицы понимались как компактные сгустки вещества в пространстве и времени. В предыдущие столетия и даже в самом начале прошлого века были сильны позиции естествоиспытателей, отрицавших существование атомов, а следовательно, и возможность рассмотрения частиц как физической категории. Признание их реальности произошло именно в XX в., когда частицы приобрели одновременно статус как метафизической, так и физической категории в триалистической парадигме.

В данной главе, во-первых, рассмотрены метафизические аспекты описания тел (частиц) в классической физике. Во-вторых, здесь классическая теория проанализирована на основе метафизического принципа фрактальности, состоящего в том, что в свойствах каждой из выделенных категорий проявляются черты двух оставшихся категорий. В-третьих, в этой главе обсужден вопрос о делимости материи на части и о применимости представлений триалистической парадигмы в физике микромира.

4.1. Метафизическое содержание второго закона Ньютона

В классической механике под категорией частиц понимаются тела, которые характеризуются положениями в пространстве (и времени), значениями скорости, а также внутренними характеристиками, определяющими их взаимодействия друг с другом, каковыми являются их массы, электрические и иные заряды.

4.1.1. Второй закон Ньютона

1. Основной задачей механики является описание движения тел. В нерелятивистской механике эта задача решается на основе второго закона Ньютона

$$m\vec{a} = \vec{F}. \quad (4.1.1)$$

Этот закон, как и другие ключевые законы физики, не выводится, а является исходным постулатом классической механики.

В данном законе нашли воплощение названные во Введении метафизические принципы цельности и троичности. Так, за присутствующими в нем символами стоят все три категории данной (триалистической) парадигмы: символ $\vec{a} = d^2\vec{x}/dt^2$ (ускорение) соответствует категории пространства-времени, символ m (масса) описывает характеристику частиц, а символ \vec{F} (сила) — категорию полей переносчиков взаимодействий.

Оказывается, понятия, входящие во второй закон Ньютона, имеют смысл лишь в неразрывном единстве, подобно тому, как единый мир расщепляется разумом на три физические категории. В связи с этим позволим себе напомнить о продолжающейся со времен Ньютона дискуссии, посвященной выяснению сути фигурирующих в его законах понятий и, прежде всего, силы и массы.

2. По поводу осмыслиения понятия силы М. Лауз писал: «Понятие силы было экспериментально обосновано, и можно было думать, что оно освобождено от всякой таинственности. Но так последовательно не думали ни в XVII, ни в XVIII столетиях. Само значение слова «сила» не было вполне установлено, и нагромождались заблуждение за заблуждением. Поскольку каждому сознательному применению человеком силы предшествует волевой акт, то позади физического понятия силы искали нечто более глубокое, метафизическое, какое-то присущее телам стремление; в случае, например, силы тяжести — стремление соединиться с себе подобным. Нам теперь трудно понять эту точку зрения. Насколько она была тогда распространена даже среди выдающихся умов, показывает спор между картезианцами, с одной стороны, о «мере силы, соответствующей природе». Одни считали такой мерой количество движения, порожденное силой в определенный момент времени, другие — то, что теперь называют кинетической энергией, а раньше называли «живой силой». Ньютон не смог в этом вопросе занять ясной позиции. Уже Даламбер (1717–1783) охарактеризовал бесконечную дискуссию, которая велась по этому поводу, как словесный спор. Но понятие силы для многих оставалось мистическим...» [95, с. 22].

3. Значительно позже А. Пуанкаре предлагал рассматривать второй закон Ньютона как определение силы, но при этом замечал, что такого определения «еще недостаточно, так как мы не знаем, что такое масса;

у нас нет иного выхода, кроме следующего определения, которое является признанием нашего бессилия: массы суть коэффициенты, которые удобно ввести в вычисления» [135].

Данная проблема волновала и Э. Маха, который писал: «Относительно понятия массы мы прежде всего заметим, что формулировка его, данная Ньютоном, а именно, что масса есть количество материи тела, определяющееся произведением его объема на плотность, неудачна» [106, с. 165].

4. Дискуссии о смысле отдельных слагаемых во втором законе Ньютона не исчерпали себя и в наше время. В. Д. Захаров объясняет сложившуюся ситуацию тем, что и масса, и сила являются метафизическими понятиями: «Возьмите основное уравнение ньютоновой динамики: масса тела, умноженная на его ускорение, равна действующей силе. В этом «законе» все непонятно, ибо ничто в нем не определено. Неизвестно, относительно чего измеряются ускорения (не говоря уж о способе измерения «абсолютного» времени). Не определено понятие массы: не зная, как определить свойство инертности, мы не можем знать, что такое есть мера инертности... А что такое сила? Не знаем. Ни Ньютон, ни кто-либо иной после него не объяснили нам этого. Определять силу как причину изменения движения тела — значит не определить ее никак. Это определение бесплодно: оно не дает возможности ни вычислять силу (независимо от массы и ускорения), ни измерять ее» [64].

5. Глядя на второй закон Ньютона (4.1.1), можно сформулировать и ряд других вопросов метафизического характера. Например, почему этот и ряд других ключевых законов физики записывается через дифференциальные уравнения именно второго порядка? Забегая вперед, отметим, что ответ на этот вопрос тесно связан с квадратичным характером мероопределения в геометрии и в теории относительности.

6. Существенным является также следствие, вытекающее из второго закона Ньютона: решения уравнений (4.1.1) зависят от начальных данных, каковыми являются как положения тел, так и значения их скоростей.

4.1.2. Понятия силы и массы

Э. Мах, будучи сторонником реляционного подхода, с позиции своей парадигмы утверждал, что в механике определяющую роль играют не массы и силы, а ускорения тел: «Мы видим, что как те массы, которые, согласно обычному выражению, действуют друг на друга, так и те, которые друг на друга не действуют, находятся в совершенно однородных друг к другу отношениях ускорения, и именно можно считать, что все массы находятся в связи друг с другом. То, что в отношениях масс

ускорения их играют выдающуюся роль, мы должны принять как факт опыта» [106, с. 200].

Фактически именно эту мысль Маха о ключевом характере ускорения во втором законе Ньютона Ю. И. Кулаков довел до логического завершения, одновременно придав ньютоновской динамике реляционную форму [90, 92]. Для этого он предложил рассматривать два множества элементов. Первое — составляют тела (их будем нумеровать латинскими буквами), а второе — образуют все возможные силы F_α , ускоряющие тела (их будем нумеровать греческими индексами). Постулируется, что между любым телом i и любым ускорителем α есть отношение, имеющее физический смысл ускорения $a_{i\alpha}$.

Оказывается, общеизвестное выражение второго закона Ньютона (4.1.1) можно записать в иной, реляционной форме, содержащей лишь отношения между телами и ускорителями. Для этого ограничимся одномерным случаем и запишем (4.1.1) в скалярной форме для некоторого тела с номером i , ускоряющегося под действием конкретной силы F_α :

$$m_i a_{i\alpha} = F_\alpha. \quad (4.1.2)$$

Выберем две произвольные массы m_i и m_k и две произвольные силы F_α и F_β и запишем 4 уравнения Ньютона для всех комбинаций из этих двух масс и сил:

$$\begin{aligned} m_i a_{i\alpha} &= F_\alpha; & m_k a_{k\alpha} &= F_\alpha; \\ m_i a_{i\beta} &= F_\beta; & m_k a_{k\beta} &= F_\beta. \end{aligned} \quad (4.1.3)$$

Вычитая в каждой строке одно уравнение из другого и затем исключая массы из оставшихся двух выражений, приходим к искомому выражению:

$$a_{i\alpha} a_{k\beta} - a_{i\beta} a_{k\alpha} = 0 \rightarrow \begin{vmatrix} a_{i\alpha} & a_{i\beta} \\ a_{k\alpha} & a_{k\beta} \end{vmatrix} = 0. \quad (4.1.4)$$

Полученное соотношение справедливо для любого набора из двух масс m_i и m_k и любого набора из двух ускорителей (сил) F_α и F_β , т. е. обладает своеобразной фундаментальной симметрией. Как будет показано в последующих главах, соотношение (4.1.4) следует понимать как *закон бинарной структуры*, введенной Ю. И. Кулаковым [90].

Легко убедиться, что второй закон Ньютона в реляционной форме (4.1.4) будет тождественно выполняться, если парное отношение $a_{i\alpha}$ представить в виде произведения двух слагаемых:

$$a_{i\alpha} = \psi(i)\phi(\alpha), \quad (4.1.5)$$

где $\psi(i)$ — некоторая характеристика (параметр), сопоставленная с каждым элементом первого множества (телами), а $\phi(\alpha)$ — параметр, сопоставляемый с каждым элементом второго множества (силами). Далее

остается только переобозначить эти параметры через привычные величины:

$$\left(\psi(i) \equiv \frac{1}{m_i}; \quad \phi(\alpha) \equiv F_\alpha \right) \rightarrow a_{i\alpha} = \frac{F_\alpha}{m_i}, \quad (4.1.6)$$

т. е., исходя из реляционной записи (4.1.4) как первичного закона, можно прийти к известной форме второго закона Ньютона (4.1.2).

Изложенный здесь подход позволяет пролить свет на суть дискуссии о смысле понятий массы и силы в традиционном подходе к классической механике. С данной точки зрения, массы и силы имеют характер лишь параметров (своеобразных координат) элементов двух множеств¹⁾.

Отметим также, что представленная здесь форма (4.1.4) второго закона Ньютона полезна для интерпретации классических понятий, однако не эффективна для решения конкретных механических задач.

4.1.3. От закона Ньютона к «золотой пропорции»

1. Ускорение, являющееся ключевым понятием во втором законе Ньютона, представляет собой вторую производную от смещения по времени, что является характерным (универсальным) свойством всех основных уравнений теоретической физики. Так, уравнения: Максвелла, Клейна—Фока, Эйнштейна и ряд других имеют характер дифференциальных уравнений второго порядка. Уже на уровне классической физики уместно задаться вопросом, тесно связанным с рядом других важных особенностей физического мира: чем же обусловлена выявленная закономерность? Прежде всего, второй порядок дифференциальных уравнений физики связан с квадратичным характером определения, т. е. с тем, что, например, квадрат интервала в теории относительности записывается в виде квадратичной комбинации $\Delta s^2 = \eta_{\mu\nu} \Delta x^\mu \Delta x^\nu$, где $\eta_{\mu\nu}$ — компоненты метрического тензора пространства-времени Минковского, а Δx^μ — смещения в пространстве и времени, входящие в это выражение квадратично. Этот факт также тесно связан с теоремой Пифагора $\Delta l^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2$ в геометрии. Более того, как будет показано ниже, названные свойства непосредственно связаны с размерностью классического пространства.

2. Однако здесь обратим внимание на другое обстоятельство: дифференциальное уравнение второго порядка означает, что его решение

¹⁾Так или примерно так Ю. И. Кулаковым был открыт первый пример бинарной физической структуры [90], позволяющей опереться на характеристику одной категории (пространства-времени), однако при рассмотрении двух пар элементов: одной пары, соответствующей двум телам (представителям категории частиц), и второй пары тел, являющихся источниками сил (представителей категории полей).

зависит от положения системы в начальный момент и от скоростей. Кроме того, сила, стоящая в правой части второго закона Ньютона, в самом общем случае зависит как от координат, так и от скоростей рассматриваемой системы.

Напомним, что скорость определяется двумя моментами времени, точнее, является отношением смещения между двумя (близкими) положениями к промежутку времени. Ускорение же, являясь скоростью скорости, определяется через два смещения. Таким образом, во втором законе Ньютона оказываются связанными положения (характеристики) системы в *три момента времени*, в чем оять нетрудно усмотреть проявление метафизического принципа тринитарности. Можно сказать, что второй закон Ньютона описывает некий процесс, в котором характеристики системы в третий момент времени зависят от характеристик системы в два предшествующих момента времени.

Свойство тринитарности органично вписалось в математику. Так, оно проявляется уже в самой алгебраической структуре, основанной на сопоставлении двум элементам некого третьего, например в определении операции сложения: $a + b = c$. В качестве другого примера назовем сложный вероятностный процесс Маркова, описывающий эволюцию системы, в зависимости не от одного, а от двух предшествующих моментов времени.

3. В качестве еще одного математического примера, отражающего метафизический принцип тринитарности, назовем процесс построения ряда Фибоначчи. Напомним, рядом Фибоначчи называется ряд целых чисел, начинающихся с нуля и единицы и обладающих тем свойством, что любое последующее число ряда φ_n равно сумме двух предыдущих, т. е. выражается формулой:

$$\varphi_n = \varphi_{n-1} + \varphi_{n-2}. \quad (4.1.7)$$

Учитывая, что в качестве первых чисел выбраны нуль и единица, имеем ряд чисел Фибоначчи:

$$\varphi_n : 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, \dots \quad (4.1.8)$$

Если в качестве первых чисел выбрать не нуль и единицу, а единицу и тройку, то получим аналогичный ряд Люка.

4. Ряд чисел Фибоначчи обладает чрезвычайно интересным свойством: в нем отношения двух последовательных чисел стремятся к определенному пределу,енному «золотым числом» или «золотой пропорцией». Чтобы это показать, разделим (4.1.7) на φ_{n-1} . Обозначая отношение двух последующих чисел через $x = \varphi_n / \varphi_{n-1}$, приходим к уравнению:

$$\frac{\varphi_n}{\varphi_{n-1}} = 1 + \frac{\varphi_{n-2}}{\varphi_{n-1}} \rightarrow x^2 - x - 1 = 0. \quad (4.1.9)$$

«Золотые числа» являются решениями этого уравнения:

$$x_1 = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} = 1,61803390\dots; \quad x_2 = \frac{1 - \sqrt{5}}{2} = -0,61803390\dots \quad (4.1.10)$$

Примечательно, что сумма «золотых чисел» совпадает с модулем их произведения.

5. К «золотым числам», или к «золотой пропорции», можно прийти на основе иных соображений. Чаще «золотые числа», или «золотую пропорцию», определяют через специальный вид деления отрезка на две неравные части, при котором целое (отрезок) относится к большей части так же, как большая часть к меньшей. Пусть отрезок длины $z+y$ разделен на две части с длинами z и y и пусть для определенности $z < y$, тогда «золотая пропорция», или «золотое сечение», находится из соотношения:

$$\frac{z+y}{y} = \frac{y}{z} \rightarrow \left(\frac{y}{z}\right)^2 - \frac{y}{z} - 1 = 0, \quad (4.1.11)$$

что соответствует (4.1.9) и решению (4.1.10) при $y/z = x$.

6. Известно, что «золотые числа» обнаруживаются в свойствах многих природных объектов, а также в произведениях искусства. «Золотое сечение» проявляется в строении человеческого тела, в генетике, в пропорциях египетских пирамид, античных храмов и многих других сооружений. По этому вопросу имеется обширная литература. В частности, содержательные обзоры и оригинальные результаты изучения свойств «золотых чисел» можно найти в работах И. Ш. Шевелева [194], А. П. Стакова [158, 159], В. В. Очинского [120], С. В. Петухова [130], А. С. Харитонова [184] и др.

«Золотые числа» и их замечательные свойства известны с глубокой древности. Платон называл эти числа ключом к пониманию физики космоса. Их важность в математике и в мироустройстве отмечали многие известные математики и естествоиспытатели. В 1509 г. вышло сочинение Луки Пачиоли «Divina Proportione», в котором свойства «золотой пропорции» сравниваются со свойствами Самого Бога, а сама пропорция называется «божественной». Иоган Кеплер назвал «золотое сечение» одним из сокровищ геометрии, поставив его в ряд с теоремой Пифагора.

7. Однако в XX в. «золотые числа» оставались вне сферы теоретической физики и в широко известном 10-томнике теоретической физики Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица о них не сказало ни слова. Тем не менее есть основания полагать, что «золотая пропорция» проявляется даже в физике микромира, что будет отмечено ниже.

8. Следует подчеркнуть, что изложенный выше переход от законов Ньютона к «золотой пропорции» основан на рассуждениях метафизического характера. Как уже отмечалось, метафизика не призвана что-

то доказывать. Однако обнаружение общих метафизических принципов в явлениях различной природы может способствовать либо установлению их непосредственной связи, либо поиску более глубоких начал, ответственных за проявления закономерностей, казалось бы, различной природы.

4.2. Метафизические аспекты аналитической механики

В истории физики немало примеров переписывания уже открытого закона в иной, на первых взглядах, совсем непохожей форме или даже переоткрытия закона в ином виде с последующим доказательством соответствия с его первоначальной формой. Это аналогично тому, как аксиоматику геометрии можно сформулировать в разных видах. То, что в одной аксиоматике было теоремой (следствием ее аксиом), в другой аксиоматике окажется теоремой, тогда как аксиомы первой станут теоремами во второй аксиоматике. Так случилось и со вторым законом Ньютона в XVIII в., когда в основания аналитической механики был положен не данный закон, а принцип наименьшего (экстремального) действия.

4.2.1. Принцип наименьшего (экстремального) действия

1. При построении аналитической механики ставилась задача сформулировать единый принцип ее описания, включающий в себя как статику, так и динамику механических систем. Формулируя данную задачу, Лагранж писал: «Я поставил себе целью свести теорию механики и методы решения связанных с ней задач к общим формулам, простое развитие которых дает все уравнения, необходимые для решения каждой задачи» (цит по [128, с. 171]).

Для нахождения положений равновесия статических систем был сформулирован *статический принцип виртуальных перемещений*: «необходимым и достаточным условием равновесия системы материальных точек и тел с идеальными стационарными связями является равенство нулю виртуальной работы всех активных сил» [128, с. 186]. Напомним, что здесь речь идет не о реальной, а о мыслимой работе при виртуальном, т. е. возможном перемещении.

Затем этот принцип под названием *принципа Даламбера–Лагранжа* был перенесен на динамические системы: «пусть система материальных точек и тел с идеальными связями движется под действием активных сил. Тогда в каждый момент времени обращается в нуль сумма виртуальных работ активных сил и сил Даламбера» [128, с. 195]. Этим свойством отличается истинное движение систем от всех возможных

мыслимых. Здесь под силами Даламбера понимаются силы инерции, равные со знаком минус произведению массы тел на ускорение.

2. В рамках аналитической механики была найдена замечательная величина — действие S механической системы, характеризующее эволюцию динамической системы между двумя моментами времени t_1 и t_2 . Действие записывается через интеграл по времени вдоль пути, соединяющего два положения частицы, от функции Лагранжа $L(q_s, \dot{q}_s, t)$, являющейся функцией от обобщенных координат q_s , скоростей $\dot{q}_s = dq_s/dt$ системы и времени:

$$S = \int_{t_1}^{t_2} L(q_s, \dot{q}_s, t) dt. \quad (4.2.1)$$

Размерность действия равна произведению размерностей энергии и времени. Для нерелятивистских механических систем функция Лагранжа определяется разностью кинетической T и потенциальной U энергий системы:

$$L = T - U. \quad (4.2.2)$$

3. Чрезвычайная важность действия состоит в том, что оно имеет экстремальное значение вдоль истинных траекторий движения системы. Согласно *принципу Гамильтона*, это означает равенство нулю вариации действия вдоль истинных траекторий:

$$\delta S = \delta \int_{t_1}^{t_2} L(q_s, dq_s/dt, t) dt = 0. \quad (4.2.3)$$

Из этого принципа находятся уравнения Эйлера—Лагранжа в виде

$$\frac{\partial L}{\partial q_s} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_s} = 0. \quad (4.2.4)$$

Отметим прямое соответствие между, с одной стороны, слагаемыми в упомянутом выше динамическом принципе виртуальных перемещений (принципе Даламбера—Лагранжа) и, с другой стороны, слагаемыми в определении функции Лагранжа (4.2.2) и в уравнениях Эйлера—Лагранжа (4.2.4). Так, вклад виртуальной работы активных сил соответствует потенциальной энергии U в (4.2.2) и первому слагаемому в уравнениях (4.2.4), а вклад сил инерции соответствует кинетической энергии T в определении функции Лагранжа и второму слагаемому в (4.2.4).

4. В современных учебниках по теоретической механике (см., например, [128]) понятие действия и принцип Гамильтона подробно выводятся, исходя из уравнений второго закона Ньютона, однако, когда принцип Гамильтона (экстремального действия) уже получен, возникает ряд проблем в его осмыслении. Как писал М. Лауз, «когда такого рода

принципы выдвигались в XVII столетии, то они производили большую сенсацию. В самом деле, дифференциальные уравнения движения определяют явление в определенный момент времени из непосредственно предшествовавшего движения, как это соответствует причинному воззрению на природу. В этих принципах, напротив, все движение за конечный промежуток времени рассматривается так, как будто будущее определяет настоящее. Казалось, что в физику вошел телеологический момент, и мечтательные умы думали даже, что они смогут узреть здесь творца с его мировым планом, согласно которому фигурирующие в этих принципах величины должны иметь минимальное значение. Идея Лейбница о «Лучшем из всех возможных миров» в некоторой мере согласовывалась с этой фантазией» [95, с. 26].

Острые дискуссии по данному вопросу начались еще раньше, начиная с XVII в., в связи с работами Пьера Ферма, сформулировавшего «принцип экономии в природе», который был применен в оптике для вывода законов преломления и отражения света. Этот принцип широко использовал Гюйгенс, называвший его «феноменом Ферма». Но у этой теории было и много противников. В XVIII в. споры вспыхнули с новой силой в связи с работами Пьера Луи Моро де Монпертуи, распространившего принцип Ферма на механику и на всю природу. Обобщенный принцип, названный позже принципом Монпертуи, гласил: если в природе происходит какое-нибудь изменение, то необходимое для этого количество действия всегда имеет возможно меньшую величину. Под количеством действия Монпертуи понимал произведение импульса на пройденный путь.

Монпертуи истолковывал этот принцип в мистическом духе. Как пишет М. Льюис, «за провозглашением этого принципа последовала полемика, в которой поднимались не столько физические, сколько метафизические вопросы (конечная причина, существование бога). Начата она была Самуэлем Кенигом (1712–1757), в ней принимали участие (как противники Монпертуи) Вольтер, Мальбранш, Вольф и другие» [103, с. 155].

5. Отметим, что принцип наименьшего действия и сейчас воспринимается не просто, о чем свидетельствует его отсутствие в школьных программах и в курсах общей физики для вузов, несмотря на то, что современная физика опирается, главным образом, на лагранжев формализм. Отметим, что в знаменитом 10-томнике Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица по теоретической физике ряд разделов изложен на основе именно принципа наименьшего (экстремального) действия (см. [93, 94]).

В связи с этим хотелось бы поделиться воспоминаниями. В 50-е годы Л. Д. Ландау читал лекции на физическом факультете МГУ им. М. В. Ломоносова. На первой же лекции по теоретической механике для студентов 2-го курса он выписал на доске функцию Лагранжа для

простейшей механической системы. Затем были записаны уравнения Лагранжа, и весь дальнейший материал излагался на их основе. У многих студентов, что называется, «поехала крыша»: физика предстала в каком-то мистическом виде. Не нужно начинать с написания уравнений Ньютона, мучиться с определением сил, реакций опор, соотношением связей и т. д., — достаточно лишь по определенным формальным правилам записать функцию Лагранжа, и из нее, как «чертик из табакерки», высакивает вся необходимая информация о системе: уравнения движения, законы сохранения и все прочее. Сильные студенты выдержали, но эти лекции читались не для теоретиков, а для всего курса. В итоге теоретическую механику нашему курсу (видимо, единственному за всю историю физического факультета МГУ) пришлось перечитывать вторично: на этот раз это было поручено опытному преподавателю В. В. Петковичу, автору впоследствии написанного обстоятельный курса «Теоретическая механика» [128].

6. Различные формулировки одних и тех же истин, как неоднократно подчеркивал Р. Фейнман, могут оказаться эквивалентными в применении к определенному кругу явлений, однако могут не быть таковыми при выборе путей выхода за пределы устоявшегося круга явлений. То же самое можно сказать и о данном принципе, который оказался плодотворным в рамках теоретико-полевого миронимания. Но что особенно важно подчеркнуть, принцип экстремального действия оказался крайне необходимым для построения теории прямого межчастичного взаимодействия в рамках реляционного миронимания. А поскольку этот подход опирается на концепцию дальнодействия, есть основания полагать, что трактовка этого принципа в телеологическом духе в какой-то степени могла соответствовать концепции дальнодействия в физике.

4.2.2. Описание взаимодействий

1. Принцип наименьшего действия (принцип Гамильтона) оказался важным не только для описания механических систем, но и для немеханических систем, в частности для описания категории полей переносчиков взаимодействий. Это позволяет определить полное действие для системы из частиц (тел) и полей, с которыми они взаимодействуют.

Принципиальная блок-схема (3.1.1) для двух взаимодействующих частиц, отмечаемых индексами 1 и 2 соответственно, представляется через отдельные слагаемые полного действия системы следующим образом:

$$S_{12} = [S_0(1) + S_{int1}] + (S_F) + [S_{int2} + S_0(2)], \quad (4.2.5)$$

где $S_0(1)$ и $S_0(2)$ действия для двух свободных частиц, S_F — действие для поля, переносящего взаимодействия, S_{int1} и S_{int2} слагаемые дей-

ствия, описывающие соответственно взаимодействия с полем первой и второй частиц. Поскольку действие представляется в виде интегралов от функции Лагранжа, то можно написать аналогичные выражения, где вместо действия S везде стоят соответствующие функции Лагранжа.

Собирая вместе слагаемые для двух свободных частиц ($S_0 = S_{01} + S_{02}$) и слагаемые, описывающие их взаимодействия с полем ($S_{int} = S_{int1} + S_{int2}$), приходим к иной записи выражения (4.2.5):

$$S_{12} = S_0 + S_F + S_{int} \rightarrow L_{12} = L_0 + L_F + L_{int}. \quad (4.2.6)$$

Последняя часть наиболее существенная, поскольку о самих частицах и полях можно судить лишь по результатам их взаимодействия.

2. Редукционистская триалистическая парадигма характерна тем, что в ней отдельные категории могут рассматриваться независимо друг от друга. Так, в гл. 2 рассматривалась категория пространства-времени фактически независимо от присутствия в нем частиц и полей. В предыдущей главе рассматривалась категория поля независимо от источников. В данном случае это означает, что принцип Гамильтона может быть применен отдельно к категории полей переносчиков взаимодействий. Поскольку поля непрерывно распределены в пространстве, то действие для полей следует определять не в виде интеграла по времени от функции Лагранжа L , а в виде объемного 4-мерного интеграла от плотности функции Лагранжа:

$$S_F = \int \mathcal{L}(B_s, \partial B_s / \partial x^\mu) d^4x, \quad (4.2.7)$$

где плотность функции Лагранжа \mathcal{L} зависит от компонент потенциала рассматриваемых полей B_s и их первых производных $\partial B_s / \partial x^\mu$ по пространственно-временным координатам. В зависимости от рассматриваемых случаев в качестве потенциалов B_s может выступать либо одна функция $\varphi(x)$ скалярного поля, либо четыре компоненты векторного потенциала A_μ электромагнитного поля, либо 16 компонент $\varphi_{\mu\nu}$ гравитационного поля и т. д.

Из принципа Гамильтона следуют уравнения Эйлера—Лагранжа для полей в виде

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial B_s} - \frac{\partial}{\partial x^\mu} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial (\partial B_s / \partial x^\mu)} = 0, \quad (4.2.8)$$

заменяющем уравнение (4.2.4) для частиц.

3. В релятивистской теории плотность функции Лагранжа должна удовлетворять ряду естественных условий. Во-первых, она строится из потенциалов полей и их первых производных. Данное условие обеспечивает второй порядок дифференциальных уравнений для соответствующих полей. Во-вторых, для получения линейных уравнений поля

необходимо, чтобы функция Лагранжа имела квадратичный характер по потенциалам и их первым производным. В-третьих, плотность функции Лагранжа должна быть скаляром относительно преобразований Лоренца. Кроме того, могут быть дополнительные требования инвариантности плотности Лагранжиана относительно некоторых так называемых внутренних симметрий, соответствующих специальным видам бозонных полей.

4. Для случая электромагнитного поля всем этим условиям удовлетворяет плотность лагранжиана

$$\mathcal{L}_F = -\frac{1}{16\pi} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu}, \quad (4.2.9)$$

где тензор напряженности электромагнитного поля $F_{\mu\nu}$ записывается через компоненты векторного потенциала, согласно (3.3.4).

Введя это выражение в (4.2.8), можно получить ранее записанные уравнения свободного электромагнитного поля, записанные в различных формах в предыдущей главе.

5. Подставляя в (4.2.8) плотность лагранжиана для тензорного поля $\varphi_{\mu\nu}$, легко получить уравнения для линеаризованного гравитационного поля. А если в плотность лагранжиана включить слагаемые более высоких степеней по потенциалам и их первым производным, как это делается в релятивистской теории гравитации Логунова, то можно получить уравнения для нелинейного гравитационного поля.

6. При выводении уравнений полей, взаимодействующих с заряженными телами (частицами), необходимо учитывать слагаемые \mathcal{L}_{int} , описывающие взаимодействия. Для случая электромагнитных взаимодействий таковыми являются выражения вида:

$$\mathcal{L}_{int} = j^\mu A_\mu, \quad (4.2.10)$$

где j^μ — плотность тока электрически заряженной материи.

Производя варьирование суммарного действия по характеристикам частиц, получаем уравнения движения взаимодействующих частиц, а варьируя по потенциалам поля, приходим к уравнениям поля с источниками, записанным ранее независимо от принципа Гамильтона.

7. В этой связи представляется уместным привести слова Р. Фейнмана из его Нобелевской лекции: «То, что электродинамику можно построить столькими различными способами, — на основе дифференциальных уравнений Максвелла, на основе различных принципов наименьшего действия с полями, на основе различных принципов наименьшего действия без полей, всеми различными способами, — об этом я знал, но никогда не понимал этого до конца. Мне всегда казалось странным, что самые фундаментальные законы физики после того, как они уже открыты, все-таки допускают такое невероятное многообразие

формулировок, по первому впечатлению неэквивалентных, и все же таких, что после определенных математических манипуляций между ними всегда удается найти взаимосвязь... Я не знаю, что должно означать это желание природы выбирать такие любопытные формы, но, может быть, в этом и состоит определение простоты. Может быть, вещь проста только тогда, когда ее можно исчерпывающим образом охарактеризовать несколькими различными способами, еще не зная, что на самом деле ты говоришь об одном и том же» [169, с. 207]. Здесь имелись в виду еще и другие способы описания электромагнетизма, которые будут рассмотрены ниже в рамках иных миропониманий.

4.2.3. Канонические уравнения Гамильтона

В аналитической механике широко представлена иная (отличная от лагранжевой) форма описания механических систем, известная как гамильтонов формализм. В метафизическом плане он интересен тем, что в нем симметричным образом оказываются представленными как (обобщенные) координаты механических систем, так и соответствующие им импульсы, что заставляет задуматься над соотношением понятий координат и импульсов. В квантовой механике (в теоретико-полевом миропонимании) оно приобретает принципиально важный характер, отражаемый соотношениями неопределенностей. Не менее значима данная проблема и в реляционном миропонимании, однако ее истоки уже явно проявляются в гамильтоновой форме классической механики.

1. В классической физике принято исходить из координатного пространства, а импульсы, в упрощенном виде определяемые через производления скорости на массу тела, получать через смещения во времени в координатном пространстве. Это означает, что для определения скорости или импульса необходимо рассматривать состояния механической системы в двух близких по времени пространственных сечениях пространственно-временного многообразия. Если же мы хотим описывать состояние системы в один момент времени (на одном сечении), то необходимо к значениям координат добавить значения скоростей (импульсов), что означает задание в каждом положении частицы еще значения ее скорости. Этот факт принято трактовать как использование *расслоенного пространства, состоящего из базы и слоя*. В качестве базы выступает координатное пространство, а в качестве слоя — пространство скоростей (или импульсное пространство).

Поскольку второй закон Ньютона выражается через дифференциальные уравнения второго порядка, то их решения зависят от начальных условий как в базе (координат), так и в слое (скоростей). Напомним

также, что функция Лагранжа определяется как через обобщенные координаты, так и через обобщенные скорости.

2. В аналитической механике импульсы определяются через функцию Лагранжа следующим образом

$$p_s = \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_s}. \quad (4.2.11)$$

Учитывая определение функции Лагранжа (4.2.2), легко видеть, что для отдельных частиц это выражение равно произведению скорости на массу частицы.

Функция Гамильтона формально определяется соотношением

$$H(q_s, p_s) = \sum_{s=1}^l \dot{q}_s p_s - \bar{L}, \quad (4.2.12)$$

где l означает число степеней свободы системы, волна (тильда) над L означает, что в L все обобщенные скорости выражены через импульсы, найденные из (4.2.11).

Поскольку функция Лагранжа определяется через разность кинетической и потенциальной энергий (4.2.2), а функция Гамильтона — согласно (4.2.12), то H представляет собой сумму кинетической и потенциальной энергий ($H = T + U$), т. е. является полной энергией механической системы.

3. В гамильтоновом формализме уравнениям второго закона Ньютона или уравнениям Эйлера—Лагранжа соответствуют канонические уравнения Гамильтона:

$$\frac{dq_s}{dt} = \frac{\partial H}{\partial p_s}; \quad \frac{dp_s}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial q_s}. \quad (4.2.13)$$

Как отсюда видно, обобщенные координаты и импульсы присутствуют в этих уравнениях симметричным образом. Эта же симметрия имеет место и в других выражениях, записываемых в гамильтоновой форме. В частности, она проявляется в написании классических скобок Пуассона, которые в квантовой теории соответствуют перестановочным соотношениям.

4. Большинство механических задач можно решать, используя любой из уже упомянутых методов: на основе уравнений Ньютона, лагранжева формализма (на основе уравнений Эйлера—Лагранжа), гамильтонова формализма (канонических уравнений), а также некоторых других. Здесь еще не упоминался метод Гамильтона—Якоби, также полезный при переходе к квантовой теории. На занятиях по теоретической механике в МГУ студентам предлагается проводить сравнительный анализ решений одних и тех же задач различными методами. При этом оказывается, что для решения одних задач (или проблем) наиболее подходящим является один из этих методов,

а для других — другой. В этой связи опять следует вспомнить высказывание Фейнмана о загадочной природе того факта, что одна и та же истина может быть описана множеством эквивалентных способов.

4.3. Принцип фрактальности в триалистической парадигме

Проанализируем содержание теорий в рамках триалистической парадигмы с позиций метафизического принципа **фрактальности**¹⁾, согласно которому в редукционистском подходе каждая выделенная категория сохраняет свойства целого и в ней неизбежно проявляются все другие категории. Так, в рамках триалистической парадигмы определение каждой из трех ключевых физических категорий — пространства-времени, полей и частиц — содержит в себе информацию о двух других категориях.

В триалистической парадигме предлагается различать три вида (стороны) фрактальности:

- 1) фрактальность по сущности,
- 2) фрактальность по качеству и
- 3) фрактальность по количеству,

которые в каком-то смысле соответствуют трем ключевым физическим категориям.

В любом виде фрактальности следует различать два подхода к трем слагаемым каждой из категорий (трех столбцов в таблицах): холистический и редукционистский. При холистическом подходе составляющие предстают как три стороны единой категории, тогда как при редукционистском подходе они рассматриваются как самостоятельные части, составляющие категорию. В ряде случаев наиболее естественным представляется холистический подход, в других — допускаются оба подхода, а порой доминирующим является редукционистский подход.

4.3.1. Фрактальность по сущности

Продемонстрируем принцип фрактальности по сущности в триалистической парадигме с помощью 3 × 3-табл. (4.3.1), в которой как по

¹⁾ Термин «фрактал» был введен в 1975 г. Бенуа Мандельбротом в его книге «The Fractal Geometry of Nature» для обозначения нерегулярных, но самоподобных структур. Фракталом, по определению Б. Мандельброта, называется структура, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому.

горизонтали, так и по вертикали обозначены три ключевые физические категории данной парадигмы.

Триалистическая парадигма: фрактальность по сущности

	Пространство-время	Поля	Частицы
Пространство-время	4-области (окрестности)	Метрика (расстояния, интервал)	Точка-событие, мировая линия
Категория поля	Область определения функции	Числовое значение функции	Аргумент функции — точка
Категория частиц	Окружающий мир (Вселенная)	Тело отсчета (макроприбор)	Рассматриваемые частицы (тела)

(4.3.1)

Обоснуем соответствие членений по вертикали построчно, т. е. отдельно для каждой из трех ключевых физических категорий.

Категория пространства-времени

Фрактальность категории пространства-времени по сущности тесно связана с *аксиоматикой геометрии*. Как уже было отмечено, анализ представленных в литературе аксиоматик геометрии (пространства-времени) показывает, что в них *минимальное и устойчиво повторяющееся число примитивов равно трем* (метафизический принцип троичности). Как правило, в качестве примитивов геометрии выбираются: **точки, метрика (расстояния), области непрерывных множеств**. В теории относительности геометрические точки трактуются как физические точки-события, а вместо расстояний выступают интервалы (метрика).

Названные примитивы геометрии (аксиоматики пространства-времени) соответствуют трем физическим категориям: 1) точка (точка-событие) — категории частиц; 2) интервал (метрика) — категории полей переносчиков взаимодействий; 3) области непрерывного множества — категории пространства-времени.

Первое из названных соответствий не вызывает сомнений, поскольку теория относительности имеет дело именно с событиями, в которых обязательно участвует какая-либо частица. Второе, — менее очевидное в рамках специальной теории относительности, — становится понятным, если иметь в виду общую теорию относительности, где через компоненты метрического тензора (метрики) описывается гравитационное взаимодействие. В многомерных теориях Калуцы—Клейна метрика ответственна и за появление электромагнитного и других физических полей. Соответствие областей самой категории пространства-времени также выглядит достаточно естественно.

Совокупность аксиом геометрии (пространства-времени) разбивается на *три основные группы: аксиомы порядка, метрические и топологические*.

гические аксиомы, которые фактически определяют три названные категории: 1) аксиомы порядка характеризуют упорядоченность точек в геометрии и соответствуют свойству причинности в физике; 2) метрические аксиомы определяют свойства интервалов (длин), задаваемых глобально или инфинитезимально; 3) топологические аксиомы формируют понятие непрерывности (свойства окрестностей).

Категория полей

В самой дефиниции поля проявляются свойства фрактальности, так как она отражает все три ключевые категории. Во-первых, это *область определения функции*, — она задана на непрерывном пространственно-временном многообразии (или на некоторой его области), — в чем можно усмотреть проявление категории пространства-времени. Во-вторых, это *числовая функция*, которую, как и метрику, будем относить к проявлениям самой категории переносчиков взаимодействий. В-третьих, *аргументом функции является точка*, олицетворяющая собой категорию частиц.

Категория частиц

Категория частиц во фрактальности по сущности предстает в виде трех составляющих: 1) *рассматриваемые частицы или тела*, которые непосредственно соответствуют категории частиц; 2) *тело отсчета*, относительно которого определяются все понятия, в том числе и компоненты полей; 3) *все прочие частицы (тела) окружающего мира (Вселенной)*. Множество прочих частиц окружающего мира в ньютоновской классической механике формально не учитывается, однако, как показано в пятой части книги, оно необходимо для развертки (через принцип Маха) отношений в пространственно-временное многообразие.

4.3.2. Фрактальность по качеству

Этому виду фрактальности соответствует табл. (4.3.2).

Триалистическая парадигма: фрактальность по качеству

	Пространство-время	Поля	Частицы
Пространство-время	Пространство-время Минковского (база)		Пространство скоростей (слой)
Категория поля	Гравитационное поле	Физические поля	Поля сил инерции
Категория частиц	Координаты частиц	Заряды частиц (тел)	Скорости (импульсы) тел

(4.3.2)

Поясним суть фрактальности по качеству последовательно для каждой из категорий.

Категория пространства-времени

В триалистической парадигме, как правило, постулируется плоское 4-мерное пространство-время Минковского, на фоне которого задаются как гравитационное, так и все иные поля, которые будем называть физическими. (В табл. (4.3.2) это отражено сдвоенной первой ячейкой.)

В категорию пространства-времени кроме координатного включено еще и пространство скоростей в качестве ее подкатегории. Как уже отмечалось, такое пространство принято именовать *расслоенным*. В нем базу образует координатное пространство, а *слой* составляют возможные значения скоростей в соответствующих точках. (В табл. (4.3.2) слою соответствует правая ячейка первой строки.)

В истории развития представлений о неевклидовых геометриях важную роль сыграло последовательное открытие трех видов пространств с симметриями: Евклида, Лобачевского и Римана (пространства постоянной положительной кривизны). Оказалось, что эти же три вида пространств определяют виды однородных изотропных космологических моделей в общей теории относительности. Но этим их роль не исчерпывается. Пространство скоростей, соответствующее категории частиц, в релятивистской теории описывается геометрией Лобачевского. В физике микромира неоднократно возникает пространство Римана.

Категория полей

Для категории полей фрактальность по качеству проявляется в их разделении на гравитационное, физические и поля сил инерции. (В табл. (4.3.2) им соответствуют три ячейки второй строки.)

Отметим, что каждая такая подкатегория также может быть подразделена. Так, например, физические поля делятся по качеству на электромагнитное и на поля, переносящие слабые и сильные взаимодействия. Проявляется фрактальность и в других подкатегориях, что более строго описывается в иных парадигмах.

Категория частиц

Фрактальность по качеству в категории частиц соответствует разделению частиц или тел по таким присущим им свойствам, как местоположение, различию по зарядам, через которые описываются взаимодействия с физическими полями, или по скоростям. (Названные характеристики соответствуют трем ячейкам третьей строки в табл. (4.3.2).)

В физике элементарных частиц XX в. большое внимание уделялось принципиально важному вопросу: существует один вид первич частиц, образующий все остальные, или речь должна идти о наборах из двух, трех или большего числа элементарных частиц, составляющих всю

остальную материю. Так, после работ Резерфорда высказывалась идея о двоичной системе мироздания: полагалось, что атомные ядра и все остальное можно построить исключительно из положительно заряженных протонов и отрицательно заряженных электронов. Но, поскольку электроны не могли уместиться в ядре, это привело сразу же после открытия нейтронов к быстрому признанию протонно-нейтронной структуры ядра. Кроме того, примерно в это же время были обнаружены позитроны — положительно заряженные двойники электронов.

Согласно современным представлениям, элементарные частицы делятся (по качеству) на лептоны, барионы, кварки различных ароматов и цветов и т. д. В самом конце XX в. в хромодинамике проявилась троичность первоматерии в виде кварков.

4.3.3. Фрактальность по количеству

О фрактальности по количеству дает представление табл. (4.3.3).

Триалистическая парадигма: фрактальность по количеству

Пространство-время	Пространство-время	Поля	Частицы
Категория поля	Области пространства-времени	Дискретный набор точек	Отдельная точка (линия)
Категория частиц	Классическое поле	Совокупность квантов	Квант поля
	Вещество	Совокупность частиц (тел)	Отдельная частица или тело

(4.3.3)

Сделаем необходимые пояснения: В этой таблице правая колонка соответствует единичным понятиям (одна точка, один квант поля, одна частица), вторая справа описывает два или несколько (конечное число или дискретное множество) элементов, а в третью справа включены объекты континуального характера.

Рассмотрим фрактальность по количеству отдельно для каждой из трех ключевых физических категорий.

Категория пространства-времени

Классическое пространство-время является идеализированной категорией, обозначающей непрерывную совокупность (континуум) точек. Характерными частями этой категории выступают подмножества (n -области, n -ячейки) исходной или меньших размерностей (области и их границы).

Как отмечалось, при описании теории относительности достаточно выходить из дискретных (даже конечных) совокупностей геометриче-

ских точек, соответствующих реально осуществившимся событиям. Существенно лишь то, что они вложимы в 4-мерное непрерывное пространство-время. В табл. (4.3.3) этот факт соотносится со второй ячейкой справа. Следует подчеркнуть, что понятие метрики (интервала) неразрывно связано, — как минимум, — с двумя точками.

Отдельная геометрическая точка соответствует единичному физическому событию (в 4-мерном мире) или одиночному идеализированному материальному объекту (в 3-мерном пространственном сечении).

Категория полей

Фрактальность по количеству применительно к категории поля означает разделение полей на нечто единичное (кванты), на какие-то конечные подмножества (совокупности квантов) и на сущности континуального характера. К единичному следует отнести кванты соответствующих (различаемых по качеству) полей. Конечные подмножества испущенных или принятых квантов характеризуются вещественными (натуральными) числами. Можно также утверждать, что понятие метрики и метрических отношений связано со счетом осуществившихся событий, которые, в частности, обусловлены числом поглощенных или испущенных квантов, главным образом, электромагнитного поля.

Классическое поле характеризуется непрерывными (идеализированными) значениями напряженности или амплитуды волны соответствующего поля.

Категория частиц

Фрактальность по количеству свойственна и категории частиц. Единичное в этой категории соответствует отдельной частице (или кванту поля частицы), конечные подмножества — молекулярным или кристаллическим структурам из атомов, а континуальное — понятию вещества, понимаемого как непрерывное распределение материи с некоторой плотностью.

4.4. Категория частиц в микромире

До сих пор под частицами понимались идеализированные классические тела столь малых размеров, что их можно было рассматривать точечными. Однако при переходе к очень малым размерам частиц (к физике микромира) вскрывается ряд новых свойств категории частиц.

4.4.1. Концепция атомизма

Мысль о пределе делимости вещества и о существовании атомов как мельчайших неделимых частиц возникла еще в античности. Обычно эту идею связывают с именем Демокрита, поставившего вопрос: сколько раз нужно делить яблоко и его части пополам, чтобы достичь предела

в виде отдельного атома? В то времена эта проблема имела сугубо метафизический, не основывавшийся на экспериментальных фактах характер. Древняя идея получила твердое опытное подтверждение лишь в прошлом столетии, причем выявилось несколько уровней дискретных состояний вещества (частиц), составляющих иерархию мельчайших «кирпичиков мироздания»:

- 1) молекулы $\rightarrow l \sim 10^{-8}$ см;
- 2) атомы $\rightarrow l \sim 10^{-8}$ см;
- 3) атомные ядра $\rightarrow l \sim 10^{-13}$ см;
- 4) нуклоны $\rightarrow l \sim 10^{-13}$ см;
- 5) кварки, лептоны $\rightarrow l \sim 10^{-16}$ см;
- 6) ? (пракварки?).

Здесь справа указаны размеры соответствующих «кирпичиков мироздания».

Сделаем необходимые пояснения.

1. Представления об **атомно-молекулярной структуре вещества** в физике нового времени формировались в связи с учением о природе теплоты. Примечательно, что в ее осмыслении, вслед за античными мыслителями, продолжали конкурировать два подхода: субстанциальный, согласно которому теплота — это особый род вещества, и кинетический, основанный на трактовке тепла как движения молекул вещества. Последний, т. е. представление о молекулярной структуре вещества, был доминирующим в XVII и в первой половине XVIII в. Его придерживались М. В. Ломоносов и Л. Эйлер, но во второй половине XVIII в. верх одержал субстанциальный подход.

В XIX в. было сделано множество открытий, свидетельствовавших о молекулярной структуре вещества. Здесь следует назвать работы А. Авогадро, Р. Клаузиуса, Дж. Максвелла, Л. Больцмана и многих других, тем не менее на рубеже XIX и XX вв. по-прежнему доминировал субстанциальный подход, сторонниками которого являлись такие известные естествоиспытатели (метафизики), как Э. Мах и В. Оствальд.

К числу драматичных и даже трагичных фактов из истории физики того времени относится неприятие научной общественностью позиции Л. Больцмана. Отчаявшись убедить коллег в своей правоте, ученый писал тогда в своих «Принципах механики»: «Я являюсь последним, кто думает отрицать возможность построения иной, нежели атомистической, картины природы» [10, с. 243]. За это его взгляды были объявлены антинаучными, а самого Больцмана называли ученым «старой школы». В одном из немецких журналов писалось по поводу вышедших в 1898 г. его «Лекций по теории газов»: «Теория кинетическая, как известно, так же ошибочна, как и разные механические теории тяготения; в частности, она ошибочно понимает принцип сохранения энергии; если, однако,

кто-либо захочет с ней познакомиться, пусть возьмет в руки книгу Больцмана» [10, с. 244]. Критика позиции ученого послужила одной из причин растройства его нервной системы, а затем и трагической гибели в 1906 г.

2. Современным представлениям об атомах, составляющих молекулы, предшествовало множество работ, косвенно свидетельствовавших об их существовании. Здесь, прежде всего, следует назвать открытие в 1868 г. Д. И. Менделеевым периодической таблицы элементов, вызвавшее оживленную дискуссию. К концу XIX в. плодотворность таблицы Менделеева была признана почти всеми химиками, однако она воспринималась лишь как опытный факт, которому не было найдено достаточно убедительно теоретического обоснования. Величие этого открытия было осознано лишь спустя более 40 с лишним лет благодаря известным экспериментам Э. Резерфорда.

3. Исследования радиоактивности и опыты Э. Резерфорда не только позволили доказать существование атомов, о которых говорил еще Демокрит, но и заставили сделать следующий шаг вглубь дискретной структуры вещества. В 1911 г. Резерфордом была предложена модель атома, согласно которой в центре атома находится положительно заряженное плотное ядро, окруженное рыхлой электронной оболочкой. В работах Г. Мозли и других авторов было показано, что место элементов в таблице Менделеева определяется числом элементарных зарядов ядра. И наконец, Н. Бору принадлежит заслуга обоснования периодичности таблицы Менделеева на основе его первого варианта квантовой механики.

Электроны, составляющие атомные оболочки, были открыты значительно раньше, во второй половине XIX века.

4. В состав атомных ядер входят положительно заряженные протоны, — ядра легчайшего элемента водорода. Последние и ранее наблюдались в экспериментах с электрическими разрядами в газах. В 1932 г. Ч. Дж. Чэдвик открыл нейтрон, и сразу, в том же году, Д. Д. Иваненко и чуть позже В. Гейзенберг высказали идею о **протонно-нейтронной структуре атомных ядер**. В нашу задачу не входит подробное изложение истории открытий в области физики элементарных частиц, поэтому мы ограничимся лишь краткой справкой.

В настоящее время известно множество адронов — частиц, участвующих в сильных взаимодействиях, которые разделяются на **барионы** — тяжелые частицы: протоны, нейтроны, множество гиперонов и резонансов, и **мезоны** — частицы, занимающие промежуточное положение между лептонами (в частности, электронами) и барионами. Для этих частиц и лептонов были экспериментально обнаружены двойники — античастицы, отличающиеся от них электрическим и другими зарядами.

В результате в физике сложилась ситуация, напоминающая историю с периодической таблицей элементов Менделеева, — было открыто большое количество элементарных частиц, для которых предлагались различные виды классификации, но не было построено достаточно обоснованной теории. Накопленные сведения имеют феноменологический характер.

5. Иной оказалась судьба одной из наиболее загадочных частиц, — электронного нейтрино, — безмассовой частицы полуцелого спина, которая была теоретически предсказана В. Паули в 1930 г. Известны слова, которые при этом он произнес: «Я сегодня сделал что-то ужасное. Физику-теоретику никогда не следует делать такого. То, что я предположил, никогда нельзя будет проверить экспериментально». Для опровержения этих слов экспериментаторам потребовалось более двух десятков лет, и сегодня нейтрино надежно наблюдаются ими. Более того, уже доказано, что кроме электронного нейтрино существуют еще два их вида (поколения), — мюонное и тау-лептонное, — чрезвычайно похожие по своим свойствам на электронное нейтрино, но проявляющиеся в иных видах реакций. Сейчас активно обсуждается так называемое явление осцилляции нейтрино, т. е. процессы их взаимных превращений.

В 1964 г. была высказана гипотеза о кварковой структуре адронов, послужившая основой для теории сильных взаимодействий конца XX в. — хромодинамики.

Согласно устоявшимся представлениям, все вещество слагается из лептонов и кварков, участвующих в электрослабых взаимодействиях. Как лептоны, так и кварки составляют *три поколения частиц*, каждое из которых образовано парой частиц, — принято о них говорить как о шести «ароматах» частиц. Так, лептоны первого поколения составляют пару: электрон и электронное нейтрино. Аналогично, первое поколение кварков, из которых построены протоны и нейтроны, образовано верхним夸克ом *u* и нижним夸克ом *d*. В отличие от лептонов, кварки обладают дробными электрическими зарядами, соответственно $+2/3$ и $-1/3$.

Кварки, кроме того, участвуют в сильных взаимодействиях. Следует особо подчеркнуть, что, согласно хромодинамике, в сильных взаимодействиях теряют силу многие понятия модели электрослабых взаимодействий: электрический заряд, верхние и нижние кварки, поколения кварков и другие. Вместо них выступают цветовые и специальные нейтральные заряды.

Кварки обладают свойством *асимптотической свободы* на малых расстояниях и *конфайнмента* на больших, т. е. в свободном состоянии они не наблюдаются. Всё физически наблюдаемые частицы (например, барионы и мезоны) представляют собой так называемые «бесцветные» комбинации из кварков.

4.4.2. Неоклассические интерпретации квантовой механики

Для описания поведения частиц указанных уровней дискретности, потребовалось ввести принципиально новые понятия и построить соответствующие теории. Чтобы охарактеризовать частицы двух верхних уровней (молекул и атомов), пришлось перейти к квантовой механике. Забегая вперед, отметим, что квантовая механика не просто привела к использованию новых понятий в рамках привычных классических представлений. Ее открытие ознаменовало переход от триалистической (ньютоновой) метафизической парадигмы к новой, дуалистической парадигме, опирающейся на новую обобщенную категорию поля амплитуды вероятности. А внедрение новых категорий, как известно, всегда сопровождается серьезными трудностями. Достаточно вспомнить многочисленные сложности, которые возникли в процессе осмысливания обобщенной категории единого 4-мерного пространства-времени и теории относительности. Только в результате мучительного преодоления множества кажущихся парадоксов, благополучно снимавшихся в новой парадигме, единое 4-мерное пространство-время заняло свое ключевое место в системе физического мироздания.

Нечто аналогичное происходило и при переходе к квантовой теории. Предпринимались многочисленные попытки описания закономерностей квантового мира на основе привычных классических представлений. При этом частицы по-прежнему рассматривались как точечные в классическом пространстве-времени, а выявленные экспериментом факты их необычного поведения старались объяснить некими пока непонятными скрытыми параметрами. Полагалось, что рано или поздно они будут осмыслены и тем самым отпадет необходимость перехода к новой парадигме.

Наиболее последовательная приверженность триалистической парадигме классической механики свойственна Д. Бому. Его работы, как он сам писал, нацелены на построение иной (не копенгагенской) «интерпретации квантовой теории в терминах пока «скрытых» параметров, которые бы в принципе точно определяли поведение индивидуальных систем; измерения, которые можно практически осуществить в настоящее время, должны включать в себя процессы усреднения по этим параметрам. (...) В отличие от обычной точки зрения, эта новая интерпретация позволяет рассматривать каждую индивидуальную систему как находящуюся в некотором точно определяемом состоянии, изменение которого со временем задается точными законами, похожими на классические уравнения движения (но не идентичные с ними). Представление о квантовомеханических вероятностях рассматривается (аналогично классической статистической механике) как вызванное практической

необходимостью, а отнюдь не как проявление внутренней неполноты описания свойств материи в квантовой области. Физические результаты, к которым приводит предлагаемая нами новая интерпретация, точно совпадают с обычными, коль скоро сохраняется уравнение Шредингера в его современной общей форме» [11, с. 34–35].

Интерпретация на основе скрытых параметров нашла немало сторонников. С их позициями можно ознакомиться по предисловию Я. П. Терлецкого и статьям ряда авторов (Ж. Вижье, Р. Дюга, И. Фельшса, и др.) в сборнике «Вопросы причинности в квантовой механике» (см. [11]). Попытки разработки интерпретаций квантовой механики на основе гипотезы о скрытых параметрах продолжаются до настоящего времени. Все предложения такого рода принято относить к неоклассическим интерпретациям квантовой механики. Здесь не преследуется цель подробного разбора позиций этих авторов, поскольку, на наш взгляд, эти попытки не отвечают основной тенденции развития фундаментальной теоретической физики, которая убедительно свидетельствует о процессе последовательного перехода физики от триалистической парадигмы через три вида дуалистических миропониманий к теории в рамках единой монистической парадигмы.

В связи с этим хотелось бы привести высказывание П. А. М. Дирака, одного из основателей квантовой теории, который писал: «Разумеется, возврата к детерминизму классической физики уже не будет; эволюция не пойдет вспять. *Наверняка появятся совершенно необычные представления, о которых мы пока даже не догадываемся. Они уведут нас еще дальше от классических взглядов и полностью изменят современный вид соотношений неопределенности*» [56, с. 24].

4.4.3. Есть ли предел делимости?

В приведенном выше перечне уровней делимости материи нижний уровень не конкретизируется в силу отсутствия у исследователей единой точки зрения. Выделим три основные позиции относительно предела делимости материи на части.

1. *Материя непрерывна и делима до бесконечности.* Эта позиция доминировала в классической физике.

2. *Материя дискретна.* Эта позиция соответствует концепции атомизма, и именно в ее рамках правомерно говорить о категории частиц.

Имеются три точки зрения по вопросу существования наиболее элементарных «кирпичиков мироздания».

А. Согласно первой из них, *отсутствует предел делимости* материи, т. е. можно говорить лишь о шагах по бесконечно длинной лестнице открытий все более и более элементарных частиц. В приведенной выше цепочке обозначено следующее после кварков звено, для ко-

торого даже предлагаются названия: пракварки, преоны и другие. В настоящее время обсуждается возможность обнаружения таких частиц. Ожидается, что процесс открытия более элементарных частиц будет продолжаться и дальше.

На каждом новом этапе перехода к более элементарным частицам приходилось сталкиваться со спектром этих частиц, и всякий раз вплоть до настоящего времени возникал естественный вопрос о едином принципе, позволяющем объяснить спектр частиц достигнутого уровня элементарности. Подобные проблемы следует ожидать и в будущем.

Б. Вторая точка зрения основана на убежденности в *существовании предела делимости* материи, т. е. возможности найти самые простые составные части вещества — элементарные частицы в подлинном смысле этого термина.

По мнению ряда исследователей, предел атомизма в виде системы лептонов и кварков уже достигнут к концу XX в. В. Гейзенберг, кстати, отрицательно относившийся к идеи кварков, следующим образом понимал предел элементарности частиц: «Можно привести соображение, касающееся вопроса, часто задаваемого дилетантами относительно понятия элементарной частицы в современной физике. Почему физики говорят о том, что элементарные частицы не могут быть разложены на меньшие частицы. Ответ на этот вопрос отчетливо показывает, насколько современное естествознание абстрактнее греческой философии. Наше соображение на этот счет примерно такое: как можно разложить элементарные частицы? Единственные средства эксперимента, имеющиеся в нашем распоряжении, — это другие элементарные частицы. Поэтому столкновения двух элементарных частиц, обладающих чрезвычайно большой энергией движения, являются единственными процессами, в которых такие частицы, пожалуй, могут быть разложимы. Они распадаются при таких процессах иногда даже на много различных частей. Однако сами составные части — снова элементарные частицы, а не какие-нибудь маленькие части их, и их массы образуются из энергии движения столкнувшихся частиц. Другими словами: благодаря превращению энергии в материю составные части элементарных частиц — снова элементарные частицы того же вида» [43, с. 38].

Гипотеза кварков вносит корректиды в данное рассуждение, однако не меняет существа доводов Гейзенberга. Согласно принципу конфайнмента, кварки невозможно выделить в свободном состоянии, а следовательно, затруднительно ставить вопрос об их частях.

В. Третий, принципиально иной путь решения проблемы делимости материи отстаивал М. А. Марков, считавший, что *на некотором*

этапе элементарности малое (*частица*) должно отождествляться с максимально большим, т. е. с полузамкнутым миром. Он предположил, что подобные частицы, названные им фридмонами, имеют размер планковской длины. Эта гипотеза, выдержанная в духе рассуждений Платона по кругу, рассмотрена в третьей части книги, посвященной геометрическому видению мира.

Однако поскольку между размерами夸арков $l \sim 10^{-17}$ см и планковской длиной $l_P \sim 10^{-33}$ см лежит достаточно обширная область, то, согласно подходу Маркова, впереди еще можно ожидать новых открытий уровней дискретности частиц, пока не будет достигнута планковская длина.

3. Материя (*частица*) неделима. Эта позиция, соответствующая холистическому подходу, была высказана Дж. Уилером. «Однажды, — вспоминал в своей Нобелевской лекции Р. Фейнман, — в аспирантуру в Принстоне мне позвонил профессор Уилер и сказал: «Фейнман! Я знаю, почему у всех электронов одинаковый заряд и одинаковая масса», — «Почему же?» — «Потому что все это один и тот же электрон». И затем он тут же по телефону объяснил: „Представьте себе, что все мировые линии, которые мы с вами обычно рассматривали раньше в четырехмерном (пространстве-времени) пространстве (вместо того чтобы следить лишь за развитием траекторий во времени), запутаны в невероятный узел. Разрежем этот узел плоскостью, соответствующей некоторому фиксированному моменту времени. Тогда мы увидим множество мировых линий, и они будут соответствовать множеству электронов, правда за одной оговоркой. Если один отрезок такой линии будет соответствовать обычному электрону, то на другом отрезке, по которому он пятится назад, по которому он возвращается из будущего, будет обратный знак собственного времени — собственной четырехмерной скорости, а это эквивалентно изменению знака заряда. Другими словами, эта часть траектории будет описывать поведение позитрона“. — «Но, профессор, говорю я, — позитронов ведь не столько, сколько электронов». — «Ну, может, они спрятаны в протонах или еще где-нибудь», — говорит он» [169, с. 207].

Безусловно, названные виды редукционизма соотносимы с закономерностями общего деления на категории и парадигмы. В частности, уже сам факт существования нескольких уровней атомизма (дискретности) вещества следует связать с названными выше общими парадигмами метафизики. Верхние два звена дискретности в § 4.1 — атомы и молекулы — описываются квантовой механикой, т. е. их открытие *неразрывно связано с переходом от триалистической (ньютоновой) парадигмы к дуалистической парадигме теоретико-полевого видения мира*. Исходя

из этого, логично поставить вопрос: какой из метафизических парадигм обусловлены другие уровни атомизма в категории частиц?

Анализ сложившихся в теоретической физике парадигм позволяет сформулировать принцип предельного монизма: теория монистической парадигмы (холизм) возникает на пределе делимости (редукционизма) категории частиц. Более того, есть основания полагать, что к концу XX в. достигнут предел делимости частиц (вещества) в виде уже открытой системы лептонов и кварков. Принцип предельного монизма означает принятие второй точки зрения на делимость вещества, однако в нем оказывается отраженной и третья точка зрения. В отличие от позиции А. М. Маркова, в данном принципе предел атомизма проявляется не в отождествлении предельно малого с предельно большим, а в обнаружении в предельно малом единой метафизической первоосновы, составляющей сущность всего наблюдаемого мира.

Из принципа предельного монизма вытекает ряд важных следствий, к которым, прежде всего, отнесем *понимание системы из лептонов и кварков как проявлений разных сторон единой сущности*. Выявленные свойства этих элементарных частиц следует положить в фундамент искомой теории монистической парадигмы, опирающейся на единую обобщенную категорию, вобравшую в себя все три ключевые физические категории. Другим следствием является *существование единой теории электроточных и сильных взаимодействий*. В качестве третьего следствия можно назвать *возможность вывода классических пространственно-временных отношений из единой обобщенной категории монистической парадигмы*. Эти и ряд других следствий обсуждаются в четвертой и пятой частях книги.

4.4.4. Физические константы и соотношение теорий

Неоднократно предпринимались попытки найти те идеи, которые позволяют осмыслить пути дальнейшего развития физики. В рамках триалистической парадигмы в качестве таковых, например, выдвигались соображения, связанные с фундаментальными физическими константами.

Поскольку на протяжении всей книги рассматриваемый материал иллюстрируется посредством куба физической реальности, здесь уместно вспомнить еще об одном кубе — кубе Зельманова, вершины которого соотнесены с частными видами физических теорий (имеющихся и искомой), демонстрируя их соотношение друг с другом. Этот куб строится на трех осях, соответствующих трем фундаментальным физическим константам: скорости света c , гравитационной постоянной G и постоянной Планка \hbar . На рис. 4.1 куб Зельманова представлен таким образом, чтобы направления его осей были сопоставимы с ку-

бом физической реальности. (Очевидно, направление «вверх» оси с соответствует физической категории пространства-времени, направление «вправо» оси G — категории полей (в данном случае гравитационному полю), а направление оси \hbar «вперед» — категории частиц, для которых строится квантовая механика.) Вершина куба в начале координат изображает ньютонаову механику, как известно, не содержащую ни одной из названных констант. Вершина куба на оси G соответствует ньютоновой механике в ньютоновом гравитационном поле. Вершина куба на оси \hbar изображает нерелятивистскую квантовую механику, а вершина куба на оси с соответствует релятивистской механике, или, иначе говоря, специальной теории относительности (СТО). Вершина куба в плоскости осей с и \hbar должна быть сопоставлена с релятивистской квантовой теорией поля. Вершина куба в плоскости осей с и G олицетворяет теорию гравитации (общую теорию относительности), а вершина в плоскости \hbar и G должна пониматься как нерелятивистская квантовая механика в присутствии ньютонова гравитационного поля. Оставшаяся восьмая вершина куба в противоположном конце главной диагонали, исходящей из начала координат, соответствует искомой теории, совмещающей в себе квантовую теорию поля и теорию гравитации (эйнштейновскую общую теорию относительности).

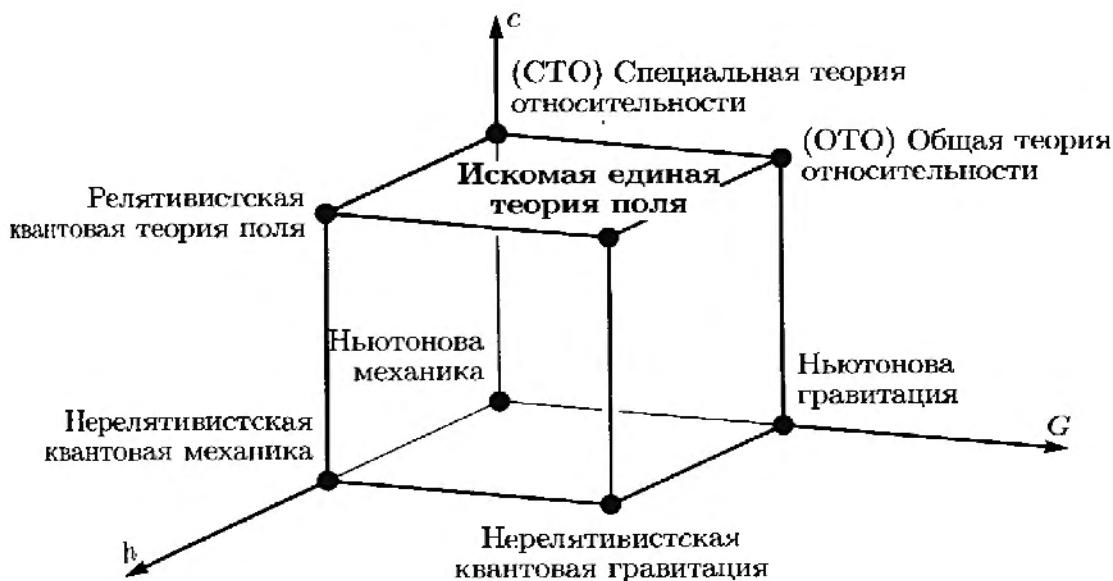


Рис. 4.1. Зельмановский куб соотношения физических теорий

Представленная здесь схема оказалась неэффективной по ряду причин.

1. За константой скорости света c стоит лишь факт объединения традиционных категорий (до XX в.) пространства и времени в единую категорию пространства-времени, что уже свершилось в начале XX в. В настоящий момент эта константа отражает лишь связь независимо

заданных единиц измерения времени (секунды) и длины (сантиметра), не более того. В самое последнее время предлагается вообще отказаться от независимого задания эталона длины в виде, например, метрового стержня и опираться лишь на эталон времени, задаваемый атомными стандартами, и один раз и навсегда фиксированное значение скорости света. Длину следует определять в единицах времени, пересчитанных в сантиметры через скорость света.

2. Относительно константы G следует сказать следующее. На рубеже XX и XIX вв. помыслы физиков были направлены на решение еще более грандиозной задачи — на построение объединенной теории, включающей теории электрослабых (модель Вайнберга—Салама—Глэшоу) и сильных взаимодействий (хромодинамику). Чтобы наглядно представить данную ситуацию, потребовался бы переход от куба Зельманова в трех измерениях к гиперкубу в пространстве гораздо большего числа измерений (с учетом количества констант, характеризующих электрослабые и сильные взаимодействия), или, иначе говоря, — на горизонтальной оси G следовало бы изобразить сразу все константы, характеризующие четыре физических взаимодействия.

3. Однако самое существенное состоит в том, что главными в развитии фундаментальной теоретической физики XX в. оказались не соображения, навеянные константами, а построение теорий на базе объединения ключевых физических категорий, точнее, — переходы к обобщенным физическим категориям, так или иначе включающим в себя три категории: пространства-времени, частиц и полей переносчиков взаимодействий. Этот путь обсужден в следующих частях книги. Вопросы количества констант в таких теориях приобрели подчиненный характер. Более того, в теории суперструн сейчас ставится вопрос о построении теории на основе лишь одной константы, из которой ожидается получение всех остальных.

Часть II

Теоретико-полевое миропонимание

Превращение частиц из метафизической категории также и в физическую привело к созданию квантовой теории и обусловило переход к новой, дуалистической парадигме теоретико-полевого миропонимания, опирающейся не на три, а на две физические категории. При этом следует различать два вида дуалистических парадигм данного миропонимания, отличающиеся характером используемых категорий.

Простейший вид парадигмы этого миропонимания опирается на объединение двух прежних категорий частиц и полей (переносчиков взаимодействий) в одну новую обобщенную категорию поля амплитуды вероятности при сохранении неизменной прежней категории 4-мерного пространства-времени. В теориях этой парадигмы поле амплитуды вероятности вкладывается в априорно заданное 4-мерное классическое пространство-время. Представителями таких теорий являются квантовая механика, релятивистская квантовая теория поля и квантовая электродинамика. Принципиальные моменты этих теорий рассмотрены в гл. 5.

Другой тип дуалистической парадигмы теоретико-полевого миропонимания также основан на двух физических категориях, однако обе они полагаются обобщенными, причем категории частиц и полей по-прежнему образуют новую обобщенную категорию, а прежняя категория пространства-времени так или иначе видоизменяется (также обобщается). Здесь следует различать несколько типов теорий. Один из них представлен так называемыми калибровочными теориями поля, в которых категория классического пространства-времени дополнена представлениями о пространствах внутренних симметрий. Этот вид теорий рассмотрен в гл. 6. Другой тип представлен теориями с суперсимметриями, где вместо классического 4-мерного пространства-времени рассматривается суперпространство, содержащее наряду с классическими координатами также неклассические гравсмановы переменные.

Отметим, что аналогичное удвоение дуалистических парадигм имеет место и в двух других миропониманиях: геометрическом и реляционном.

В дуалистической парадигме теоретико-полевого миропонимания частицы описываются особыми фермионными полями, тогда как поля переносчиков взаимодействий характеризуются бозонными полями, однако и те, и другие рассматриваются на равной ноге. В представлениях о новой обобщенной категории поля имеет место принцип фрактальности, возникает понятие спинора и ряд других необычных свойств.

Квантовая теория

Создание квантовой теории сыграло важную роль в развитии метафизики (физики). Была выявлена недостаточность триалистической (механистической) парадигмы, и была сформулирована физическая теория в рамках первого вида дуалистической парадигмы теоретико-полевого миропонимания. Возвращаясь к введенному ранее образу куба, дуалистическую парадигму теоретико-полевого миропонимания можно представить как взгляд на мир со стороны нижней грани куба, определяемой двумя ортами (ребрами), соответствующими категориям частиц и полей переносчиков взаимодействий (см. рис. 5.1). На рисунке эта грань заштрихована. Ребро пространства-времени ортогонально выделенной грани.

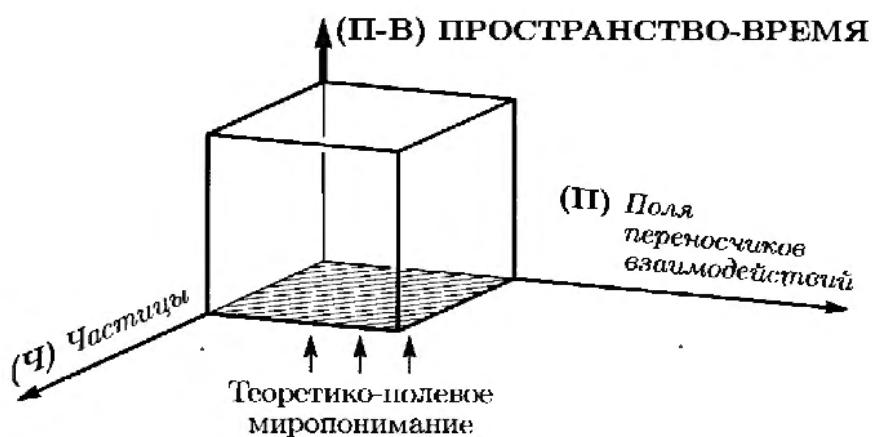


Рис. 5.1. Теоретико-полевое видение куба физического мироздания

Отметим, что имеется ряд интерпретаций закономерностей, вскрытых квантовой теорией. Они неразрывно связаны с выбором той или иной метафизической парадигмы. Дуалистической парадигме теоретико-полевого миропонимания наиболее адекватно соответствует копенгагенская интерпретация квантовой механики.

5.1. Становление квантовой механики

1. В физике конца XIX в. оставался ряд нерешенных проблем, связанных с объяснением спектрального распределения теплового излучения черного тела, удельной теплоемкости твердых веществ при низкой температуре и некоторых других. Казалось, для их решения достаточно небольших усилий и почти завершенное здание классической физики будет построено. Эта иллюзия рассеялась в 1900 г., когда Макс Планк объяснил спектр излучения черного тела на основе постулата о дискретном характере (о квантах) испускания и поглощения электромагнитного излучения. Энергия квантов была записана через частоту $\nu = \omega/2\pi$ в виде

$$E = h\nu = \hbar\omega, \quad (5.1.1)$$

где $\hbar = h/2\pi = 1,05459 \cdot 10^{-27}$ эрг · с — постоянная Планка, размерности классического действия.

2. Следующий шаг по расшатыванию здания классической физики был сделан А. Эйнштейном в 1905 г. На основе квантовых представлений он объяснил явление фотоэффекта — выбивания электронов из вещества под действием света. Было показано, что энергия E_e фотонов определяется формулой

$$E_e = \hbar\omega - W, \quad (5.1.2)$$

где W — работа по преодолению сил, удерживающих электрон в веществе. Именно за эту работу (а не за теорию относительности) А. Эйнштейну была присуждена Нобелевская премия.

3. Затем следует назвать работу А. Эйнштейна 1907 г. по объяснению удельной теплоемкости. Как пишет Планк, «первый шаг в этой области был сделан А. Эйнштейном, который, с одной стороны, указал на то, что для ряда замечательных наблюдений над действиями света, такими как явление Стокса, испускание электронов, ионизация газов, по-видимому, можно получить простое объяснение, если ввести обусловленные квантами действия кванты энергии. С другой стороны, отождествляя выражения энергии системы резонаторов с энергией твердого тела, он получил формулу для теплоемкости твердого тела, дающую в общем правильное представление об изменениях теплоемкости, особенно об ее уменьшении при падении температуры» [133, с. 146].

4. Далее нужно назвать эксперименты 1911 г. Э. Резерфорда, позволившие создать модель атома в виде ядра, окруженного электронной оболочкой, и последовавшие за этим работы Н. Бора 1913 г., применившиего к модели Резерфорда идею Планка о квантованиях. Всем известны квантовые постулаты Бора. Согласно первому постулату, атомная система находится в особых стационарных состояниях, характе-

ризуемых дискретными значениями энергии. Согласно второму постулату, атом при переходе из одного состояния в другое излучает или поглощает квант энергии, равный разности энергий соответствующих состояний E_s :

$$\hbar\omega = E_1 - E_2. \quad (5.1.3)$$

Н. Бор предложил простое правило для определения круговых орбит электронов, соответствующих стационарным состояниям атома. Согласно этому правилу, момент импульса электронов должен равняться целому числу, умноженному на \hbar . Затем были работы А. Зоммерфельда, обобщившие правила квантования Бора для круговых орбит на случай эллиптических орбит. Все это позволило объяснить экспериментально найденные спектры излучения атомов.

Обратим внимание на то, что в постуатах Бора говорится о парах состояний атомов — до и после излучения (поглощения), — но ничего не сказано о самом процессе перехода между состояниями. Этот факт доставлял значительные затруднения в восприятии постулатов, однако в нем воплотилось важное свойство квантовой механики, отказавшейся от рассмотрения подобных классических понятий.

5. Теория квантов получила подкрепление в эффекте рассеяния фотона на электроне, обнаруженном А. Х. Комптоном в 1923 г. Было показано, что при рассеянии света достаточно малой длины волны, т. е. сравнимой (или меньшей) с так называемой комптоновской длиной волны электрона

$$\lambda_e = \frac{\hbar}{mc} = 3,9 \cdot 10^{-11} \text{ см}, \quad (5.1.4)$$

свет и электрон ведут себя как в акте соударения двух шариков в классической механике, когда выполняются известные законы сохранения энергии и импульса.

6. На основе накопленного экспериментального материала в 1923 г. Луи де Бройль выдвинул идею о двойственной природе частиц (всей материи), согласно которой любая частица с импульсом p обладает длиной волны λ , определяемой соотношением

$$\lambda = \frac{\hbar}{p}. \quad (5.1.5)$$

Вскоре после этого, в 1927 г., К. Д. Дэвиссон и Л. Х. Джермер и независимо от них, но на год позже Д. П. Томсон наблюдали дифракцию электронов на кристаллах.

7. Можно сказать, что в 1925–1926 гг. была в основных чертах создана квантовая механика и практически одновременно были предложены две ее формулировки: одна Э. Шредингером в виде дифференциального волнового уравнения, а другая — В. Гейзенбергом в матричном виде.

Конец 20-х гг. XX в. называют «героическим временем» квантовой механики. Это был период бурного ее развития как в математическом плане, так и в разработке ее интерпретации.

8. Отдельно следует выделить открытие релятивистского волнового уравнения (Клейна—Фока), сделанное в 1926 г. независимо друг от друга О. Клейном, В. А. Фоком и В. Гордоном. Это открытие было сделано довольно необычным образом: на основе 5-мерного обобщения классического пространства-времени.

9. Наконец, отметим, что в работе 1928 г. П. Дирак опубликовал свое знаменитое уравнение, которое описывает реальные частицы, обладающие полуцелым спином.

В специальных исследованиях описывается история и других важных открытий в области квантовой механики: спина элементарных частиц, статистики Ферми и многих других.

10. Обобщая изложенные выше результаты, можно утверждать, что для создания квантовой механики потребовалось три фундаментальные идеи:

- А. Идея М. Планка о квантованности физических величин, точнее о том, что элементарные физические процессы (излучения и поглощения) характеризуются дискретными значениями действия, кратными планковской постоянной \hbar .
- Б. Идея Л. де Броиля о двойственной природе частиц — волновой и корпускулярной, — аналогичной двойственной природе полей переносчиков взаимодействий. Это обусловило вероятностный характер квантовой механики.
- В. Третья идея состояла в своеобразном «извлечении квадратного корня» из ряда классических величин. В *нерелятивистской квантовой механике* достаточно говорить об «извлечении квадратного корня» из классической плотности вероятности и введении амплитуды вероятности пребывания частиц в соответствующих точках классического пространства-времени (в координатном представлении).

5.2. Полевое описание новой категории

В квантовой механике новая обобщенная категория представляет собой не реально существующую, распределенную в пространстве-времени субстанцию, а является амплитудой вероятности обнаружения объектов в различных местах пространства (и времени). Под объектами теперь понимаются как частицы, так и кванты полей переносчиков взаимодействий триалистической парадигмы. Новую категорию невозможно представить в наглядных образах, однако можно описать с помощью полевых уравнений. В дуалистической теоретико-полевой парадигме

уравнения поля (для амплитуды вероятности) представляют собой своеобразные условия вложения обобщенной категории в классическое (привычное) пространство-время.

5.2.1. Уравнения Клейна—Фока и Шредингера

Поскольку в данной парадигме одной из категорий является 4-мерное пространство-время, то начнем с рассмотрения релятивистского волнового уравнения Клейна—Фока¹⁾ для свободных массивных частиц

$$\eta^{\mu\nu} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^\mu \partial x^\nu} + \left(\frac{mc}{\hbar} \right)^2 \Phi = 0, \quad (5.2.1)$$

где Φ — релятивистская волновая функция, m — масса покоя частицы. Очевидно, что оно соответствует релятивистскому соотношению между энергией, импульсом и массой частицы ($\eta^{\mu\nu} p_\mu p_\nu - m^2 c^2 = 0$) в специальной теории относительности, если произвести замену

$$p_\mu \rightarrow i\hbar \frac{\partial \Phi}{\partial x^\mu} \rightarrow \left(p_0 \equiv E = i\hbar \frac{\partial \Phi}{\partial x^0}; \quad p_k = i\hbar \frac{\partial \Phi}{\partial x^k} \right). \quad (5.2.2)$$

При построении квантовой механики исследователи руководствовались не столько метафизическими соображениями, сколько логикой решения внутренних проблем науки. Оказалось, что уравнение Клейна—Фока, еще раньше записанное Шредингером, приводит к ряду недоразумений как в экспериментальном, так и в концептуальном планах. П. А. М. Дирак об этом писал: «В основе его (Шредингера. — Ю. В.) идеи лежала удивительная связь между волнами и частицами, которую несколько раньше открыл де Бройль; эта связь, установленная де Бройлем, была великолепно доказана математически и согласовывалась с теорией относительности. Она казалась весьма таинственной, но ее математическое великолепие говорило о том, что между волнами и частицами должна существовать какая-то глубокая связь, иллюстрированная математическим способом. Идеи де Бройля были применимы только к свободным электронам (...). Разумеется, было необходимо проверить, пригодно ли оно на практике. Шредингер применил его в задаче, связанной с электроном в атоме водорода, и получил спектр водорода. Его результат не совпал с экспериментом. Шредингер испытал большое разочарование. Это был пример того, как исследователь, находящийся

¹⁾Часто в литературе это уравнение называют уравнением Клейна—Гордона, однако известно, что последний получил этот результат позже В. Л. Фока [173]. По этой причине в работах ряда российских авторов предлагается исправить допущенную в названии некорректность.

накануне открытия, убеждается, что все его худшие опасения оправдались: такая прекрасная и так много обещавшая теория оказалась непригодной на практике.

Как же поступил Шредингер? Он был очень огорчен и, как мне рассказывал, на несколько месяцев все бросил. Затем, немного оправившись от огорчения, он вернулся к этой работе, причем заметил, что если он применяет свой метод с меньшей точностью, не принимая в расчет релятивистских эффектов, то при такой степени точности его теория совпадает с наблюдением. Тогда он опубликовал свою работу (...).

Шредингер проявил излишнюю робость, отказавшись от своего первого релятивистского уравнения, не совпадавшего с наблюдениями водородного спектра. Несколько позднее это уравнение было вновь открыто Клейном и Гордоном, которые опубликовали свою работу, несмотря на расхождения с наблюдением (...). Единственной заслугой Клейна и Гордона здесь было то, что они оказались достаточно отважными и их не смущило отсутствие совпадения между уравнением и наблюдением. В конечном результате уравнение это известно теперь как уравнение Клейна—Гордона, несмотря на то, что годом или двумя раньше оно было открыто Шредингером» [57].

Уравнение Шредингера соответствует нерелятивистскому соотношению между энергией и импульсом $\mathcal{E} = p^2/2m$. Чтобы к нему перейти от уравнения Клейна—Фока, последнее следует записать как дифференциальное уравнение первого порядка по временной производной. Это всегда можно сделать, перейдя к системе из двух уравнений первого порядка относительно двух неизвестных:

$$\varphi = \Phi + \frac{i\hbar}{mc} \frac{\partial \Phi}{\partial x^0}; \quad \chi = \Phi - \frac{i\hbar}{mc} \frac{\partial \Phi}{\partial x^0}. \quad (5.2.3)$$

Заметим, что в гл. 3 аналогичная процедура фактически была применена при переходе от волновых уравнений для электромагнитного векторного потенциала A_μ (3.3.1) к уравнениям первого порядка для компонент напряженностей электромагнитного поля $F_{\mu\nu}$ (3.3.5)–(3.3.6).

Учитывая, что для нерелятивистских частиц в нулевом приближении можно положить энергию равной mc^2 , т. е.

$$i\hbar \frac{\partial \Phi}{\partial x^0} \approx mc\Phi \rightarrow \chi \ll \varphi, \quad (5.2.4)$$

приходим к уравнению Шредингера относительно лишь одной неизвестной φ :

$$i\hbar \frac{\partial \varphi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \varphi, \quad (5.2.5)$$

где, напомним, $x^0 = ct$, а оператор ∇^2 означает сумму пространственных производных второго порядка.

В релятивистском приближении волновая функция частицы $\varphi(x)$ квадратичным образом определяет плотность вероятности $\rho(x)$ пребывания частицы в соответствующих точках пространства-времени

$$\rho(x) = \varphi^*(x)\varphi(x), \quad (5.2.6)$$

где $\varphi^*(x)$ — комплексно сопряженная волновая функция частицы. Согласно этому выражению, волновая функция частицы предстает как своеобразный «квадратный корень» из классической вероятности.

Умножая уравнение Шредингера слева на φ^* и вычитая из него комплексно сопряженное уравнение, при учете (5.2.6) приходим к уравнению непрерывности

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{j} = 0, \quad (5.2.7)$$

где плотность тока имеет вид

$$\vec{j} = -\frac{i\hbar}{2m} (\varphi^* \vec{\nabla} \varphi - \varphi \vec{\nabla} \varphi^*). \quad (5.2.8)$$

При попытке дать аналогичную интерпретацию релятивистской волновой функции Φ возникают трудности концептуального характера. Действительно, осуществив подобную процедуру перехода от релятивистского уравнения Клейна—Фока (5.2.1) к уравнению непрерывности (5.2.7), приходим к выводу, что для плотности вероятности ρ необходимо положить вместо (5.2.6)

$$\rho = \frac{i\hbar}{2mc^2} \left(\Phi^* \frac{\partial \Phi}{\partial t} - \frac{\partial \Phi^*}{\partial t} \Phi \right). \quad (5.2.9)$$

Но это выражение из-за производных по t может принимать как положительные, так и отрицательные значения, что недопустимо для плотности вероятности. Как писал Дирак, «когда пробовали работать с релятивистским уравнением, носящим название уравнения Клейна—Гордона, возникало не только расхождение с наблюдением, но и расхождение с логической интерпретацией уравнения. Если применять обычные правила, установленные для квантовой механики, то уравнение Клейна—Гордона, по-видимому, привело бы нас к отрицательным вероятностям, которые, конечно, совершенно абсурдны» [57].

5.2.2. Уравнения Дирака

Чтобы преодолеть концептуальную трудность с определением вероятности нахождения частиц в отдельных точках пространства-времени Минковского, пришлось перейти к большему числу компонент волновой функции частиц фактически по ранее уже использованному рецепту при

получении уравнения Шредингера или при получении уравнений Максвелла для напряженностей электромагнитного поля, — первичными компонентами волновой функции частиц были объявлены комбинации, содержащие первые производные от координат. Автор этого результата П. А. М. Дирак писал: «Уравнение Клейна—Гордона нуждалось в какой-то модификации. В течение некоторого времени оно приводило меня в недоумение, а затем я подумал о другом уравнении, которое преодолело бы логические трудности отрицательных вероятностей» [57].

Поясним суть уравнений, открытых Дираком. При переходе от уравнения Клейна—Фока (5.2.1) к нерелятивистскому уравнению Шредингера, произведенному с помощью формул (5.2.3), была нарушена симметрия временной и пространственных координат. Необходимо было найти уравнения, которые содержали бы только первые производные и по временной, и по пространственным координатам. Из опыта перехода к уравнению Шредингера ясно, что в таком случае одна функция Φ должна замениться набором из нескольких функций, которые обозначим через $\psi_{(a)}$, где символ a пробегает некоторое число n значений. В самом общем случае система релятивистски инвариантных уравнений первого порядка, симметрично содержащих весь набор функций, имеет вид

$$\psi_{(a)} = -\frac{i\hbar}{mc} \gamma_{(ab)}^\mu \frac{\partial \psi_{(b)}}{\partial x^\mu}, \quad (5.2.10)$$

где $\gamma_{(ab)}^\mu$ — совокупность коэффициентов, стоящих при первых производных. Перед слагаемыми справа введен коэффициент размерности сантиметра, построенный из имеющихся фундаментальных констант, мнимая единица выбрана из соображений удобства. По индексу b производится суммирование по всем его возможным значениям.

Поскольку индексы a и b при коэффициентах $\gamma_{(ab)}^\mu$ пробегают одинаковую совокупность значений, то коэффициенты удобно записывать в виде квадратных $n \times n$ матриц. Это диктует целесообразность представления набора функций $\psi_{(a)}$ (компонент амплитуды вероятности) в виде n -столбца, а суммирование по b в (5.2.10) трактовать через правила умножения квадратной матрицы на столбец. При таких обозначениях соотношения (5.2.10) можно переписать в матричном виде

$$i\gamma^\mu \frac{\partial \psi}{\partial x^\mu} + \frac{mc}{\hbar} \psi = 0. \quad (5.2.11)$$

Чтобы окончательно решить поставленную задачу и получить уравнения Дирака, нужно определить вид матричных коэффициентов γ^μ . Их свойства находятся из условия, что каждая из функций столбца ψ должна удовлетворять релятивистскому волновому уравнению Клейна—Фока (5.2.1), — условию вложимости в пространство-время

Минковского. Это несложно сделать, причем различными способами. Проще всего это достигается умножением (5.2.11) слева на некоторое выражение того же сорта и отождествлением результата с совокупностью уравнений Клейна—Фока для всех компонент амплитуды вероятности:

$$\left(-i\gamma^\nu \frac{\partial}{\partial x^\nu} + \frac{mc}{\hbar}\right) \left(i\gamma^\mu \frac{\partial\psi}{\partial x^\mu} + \frac{mc}{\hbar}\psi\right) = I_n \left[\eta^{\mu\nu} \frac{\partial^2\psi}{\partial x^\mu \partial x^\nu} + \left(\frac{mc}{\hbar}\right)^2\right] \psi = 0, \quad (5.2.12)$$

где I_n — квадратная единичная $n \times n$ -матрица. Легко видеть, что данное отождествление возможно лишь в том случае, если совокупность из четырех γ -матриц удовлетворяет условиям:

$$\gamma^\mu \gamma^\nu + \gamma^\nu \gamma^\mu = 2I_n \eta^{\mu\nu}, \quad (5.2.13)$$

которые не позволяют однозначно установить вид матриц, однако во многих случаях этого знать и не надо.

Из этих условий следует, что *минимальнос n , для которого можно подобрать четыре матрицы γ^μ с комплексными элементами, равно четырем ($n = 4$)*. Такие матрицы называются матрицами Дирака. Следовательно, *волновая функция, описывающая категорию частиц, является комплексной 4-компонентной*. В соответствии с этим, соотношения (5.2.11), называемые уравнениями Дирака, представляют собой систему из четырех комплексных уравнений. Такие поля принято называть фермионными.

Заметим, что использованную в (5.2.12) процедуру, когда слева стоит квадратичная комбинация из выражений, соответствующих уравнениям Дирака, можно трактовать как «своеобразное извлечение квадратного корня», но теперь уже не из плотности вероятности, а из уравнения Клейна—Фока.

Уравнения Дирака (5.2.11) для свободных частиц можно получить вариационным методом из плотности лагранжиана вида

$$\mathcal{L}_0 = \frac{i\hbar c}{2} \left(\bar{\psi} \gamma^\mu \frac{\partial\psi}{\partial x^\mu} - \frac{\partial\bar{\psi}}{\partial x^\mu} \gamma^\mu \psi + \frac{imc}{\hbar} \bar{\psi} \psi \right). \quad (5.2.14)$$

Отметим, что в этом выражении содержится массовое слагаемое, вводимое волевым образом.

Умножая уравнения Дирака (5.2.11) слева на ψ^\dagger и вычитая из него комплексно сопряженное выражение, приходим к уравнению непрерывности

$$\frac{\partial(\bar{\psi} \gamma^\mu \psi)}{\partial x^\mu} = 0 \rightarrow \frac{\partial\rho}{\partial x^0} + \text{div} \vec{j} = 0, \quad (5.2.15)$$

где $\bar{\psi} = \psi^\dagger \gamma^0$, записываемое в виде строки, и

$$j^\mu = \bar{\psi} \gamma^\mu \psi \rightarrow (\rho = \bar{\psi} \gamma^0 \psi = \psi^\dagger \psi; \vec{j} \rightarrow j^k = \bar{\psi} \gamma^k \psi) \quad (5.2.16)$$

— плотность вероятности и плотность тока, представленные как временная и пространственные компоненты единого 4-мерного вектора. Это и есть релятивистское обобщение плотности вероятности ρ и уравнения непрерывности.

Легко показать, что уравнения Дирака для свободных частиц допускают решение в виде плоской волны вида

$$\psi(x^0, \mathbf{x}^k) = u(\vec{p}) \exp\left(\frac{i p_\mu x^\mu}{\hbar}\right), \quad (5.2.17)$$

где 4-компонентная функция ψ представлена в виде двух частей: координатной (экспоненты), характеризующей волновой характер решения, и спинорной части $u(\vec{p})$, зависящей только от компонент импульса p^μ этой частицы.

Имеются решения уравнения Дирака как с положительной, так и с отрицательной энергиями $E = \pm \sqrt{\vec{p}^2 + m^2}$. Они интерпретируются как соответствующие частице (электрону) и античастице (позитрону). Позитроны были обнаружены экспериментально вскоре после открытия уравнения Дирака.

В нерелятивистском случае две компоненты ψ из четырех имеют порядок $v/c \ll 1$, т. е. ими можно пренебречь по сравнению с двумя оставшимися. Вспомним, что такая же ситуация была при переходе от уравнения Клейна—Фока к уравнению Шредингера, когда одна из двух функций оказалась малой. Уравнения Шредингера тогда рассматривались относительно одной оставшейся функции. В данном случае остаются две существенные компоненты функции ψ , которые интерпретируются как две возможные проекции спина частицы: плюс и минус половина (левая и правая поляризации).

5.3. Категория поля амплитуды вероятности

Главные трудности в осмыслении квантовой механики связаны с необходимостью перехода к новой обобщенной категории — поля амплитуды вероятности, — не являющейся ни частицей, ни полем в классическом понимании этих первичных категорий.

5.3.1. Непривычные черты категории поля амплитуды вероятности

Охарактеризованная выше, квантовая теория, как нерелятивистская, так и особенно релятивистская имеет ряд необычных свойств, не встречающихся в классической физике. Кратко перечислим главные из них.

1. Если классическая физика строится на базе вещественных чисел, то квантовая теория и вообще физика микромира опирается на поле

комплексных чисел, что вызывает недоумения у всех приступающих к изучению квантовой механики. Иногда это пытаются объяснить техническими соображениями удобства вычислений и записи ключевых выражений. Однако на самом деле причина этого значительно глубже: использование комплексных чисел отражает тот факт, что в физике микромира теряет силу аксиома Архимеда о возможности сравнения любых двух понятий, какое из них больше, а какое меньше.

2. Следующая особенность амплитуды вероятности состоит в том, что она представляет собой своеобразный «корень квадратный» из классической вероятности.

3. Особый круг вопросов вызывает необходимость описания частиц через спинорные волновые функции. В связи с этим напомним, что спиноры как математический объект были открыты Э. Картаном в 20-х гг. XX в., — именно в тот момент, когда возникла потребность их в физике. Довольно быстро было осознано, что уравнения Дирака можно понимать как уравнения именно для спинорных волновых функций. Этот факт можно пояснить следующим образом. Матрицы Дирака в уравнениях (5.2.11) обычно выбирают постоянными, раз навсегда заданными¹⁾, тогда компоненты ψ и $\bar{\psi}$ должны преобразовываться при координатных преобразованиях неким специальным образом, а именно так, чтобы компоненты j^μ в (5.2.16) преобразовывались по векторному закону. В этом случае ψ следует понимать как «половектор» или опять как «своеобразный квадратный корень», но уже из вектора j^μ . Именно такие величины в математике принято называть *спинорами* (см. [145]).

Несмотря на данное выше математическое доказательство необходимости перехода к спинорным волновым функциям, за этим формальным фактом хочется увидеть некую более глубокую физическую (или даже метафизическую) подоплеку. Видимо, именно это имели в виду К. Готтфрид и В. Вайскопф, когда, анализируя состояние физики элементарных частиц во второй половине XX в., заявили: «Тот удивительный факт, что все фундаментальные фермионы в физике элементарных частиц (электроны, нейтрино, кварки и т. п.) обладают спином $s = 1/2$, до сих пор не получил объяснения» [47, с. 58].

4. Но наибольшее число вопросов и следствий вызывает вероятностный характер квантовой теории.

5. Много проблем в понимании сущности квантовой теории вызывает факт одновременной ненаблюдаемости координат и импульса — того, что принято называть принципом неопределенностей Гейзенберга.

¹⁾Имеется другая возможность: четыре матрицы γ^μ можно рассматривать как компоненты 4-мерного вектора (имеющийся произвол в их определении позволяет это сделать), тогда релятивистская инвариантность уравнений Дирака очевидна независимо от закона преобразования компонент ψ .

Эти и ряд других обстоятельств оказались причиной того, что до сих пор многие считают, что в квантовой механике (теории) содержится нечто таинственное, до сих пор неразгаданное, причем так думают не только дилетанты, но так считали и классики теоретической физики, внесшие значительный вклад в становление квантовой физики. Приведем ряд высказываний по этому вопросу.

Луи де Броиль: «Что касается меня, то я начал заниматься квантами, когда мне было около двадцати лет, и продолжал изучать их в течение четверти века. И все же я должен честно признаться, что если за все это время я и добился несколько более глубокого понимания некоторых сторон этого вопроса, то я не могу еще с полной уверенностью сказать, что таится под маской, скрывающей подлинное лицо квантов» [13, с. 7].

М. Лауз: «Квантовая механика математически применяется с большим мастерством, но ее физическое содержание, по моему мнению, до сих пор не вполне ясно. (...) Дальнейшее развитие квантовой теории, например вопрос о совместности волнового и корпускулярного представлений, в настоящее время не является еще исторически зрелым» [95, с. 162].

М. Планк о М. Лауз: «Он не мог не занять определенной точки зрения и в отношении важнейшего вопроса о причинности. В настоящее время этот вопрос, по-видимому, разделяет физиков на два противоположных лагеря в зависимости от того, как они рассматривают дуализм корпускулярно-волновой механики в его современной формулировке, отвергающей причинное объяснение отдельных явлений в атомных процессах. Некоторые физики рассматривают эту формулировку как окончательный неизменный принцип, другие — как временное положение в теории, нуждающееся в дальнейшем объяснении. У Лауз никогда не было сомнений в том, что он принадлежит ко второй группе физиков. Но он постоянно подчеркивает, что он не является противником исследования статистических закономерностей, которые становятся понятными только благодаря современным методам и во многих случаях интересны для экспериментатора. Но все же, по мнению Лауз, не следует бросать на произвол судьбы познавательно-теоретический постулат причинности, которому в конце концов будет принадлежать последнее слово в квантовой теории» [133, с. 205].

А. Эйнштейн: «Нет сомнения, что в квантовой механике имеется значительный элемент истины и что она станет пробным камнем для любой будущей теоретической основы, из которой она должна будет быть выведена как частный случай, подобно тому, как электростатика выводится из уравнений Maxwella для электромагнитного поля или термодинамика из классической механики. Однако я не думаю, что квантовая механика является исходной точкой поисков такой основы...» [206, с. 56].

Р. Фейнман: «Но, мне кажется, я смело могу сказать, что квантовой механики никто не понимает» [169, с. 139]. В своей Нобелевской лекции он также заметил: «Я хочу сказать, что, по-моему, сейчас у нас нет удовлетворительной квантовой электродинамики, хотя я и не уверен в этом до самого конца» [169, с. 227].

А один из физиков даже заявил: «Основания квантовой механики — это то, на чем будет вечно покоиться ее прах».

Несмотря на все трудности в осмыслении сути квантовой теории, следует констатировать, что возврата к классическим представлениям уже не будет. Как писал *B. A. Фок*, «неравенства Гейзенберга (...) указывают пределы применимости классического способа описания. Но они отнюдь не ставят каких-либо границ для более совершенных способов описания физических явлений и для более полного познания свойств физических объектов» [177, с. 10].

5.3.2. Интерпретации квантовой механики и метафизика

По проблеме интерпретации квантовой механики в XX в. состоялось множество дискуссий, в которых фактически речь шла о преодолении наследия классической (ньютоновой) физики, описывающей детерминированные макропроцессы. Как в первой главе говорилось о периоде преодоления в естествознании (в трудах Н. Кузанского, Н. Коперника, Г. Галилея и др.) предрассудков античных представлений, так следует говорить о XX в. как о времени преодоления предрассудков классической физики. Этот процесс происходил (и происходит) чрезвычайно трудно. Сам Эйнштейн говорил, что он «не может представить себе Бога, играющего в кости».

Попробуем взглянуть на трудности интерпретации (осознания) квантовой механики с позиций метафизики. В большинстве приведенных выше высказываний классиков теоретической физики усматриваются попытки ее осмысливать в рамках привычной триалистической метафизической парадигмы, а в настоящее время в литературе обсуждается около десятка интерпретаций квантовой механики (кopenhагенская, неоклассические, статистическая, многомировая, геометрическая в рамках фоптики, фейнмановская и другие), развиваемых в рамках различных метафизических парадигм. Ряд из них будет рассмотрен в следующих частях книги, где обсуждаются геометрическое и реляционное миропонимания. Здесь же кратко остановимся на интерпретациях, разрабатываемых в рамках теоретико-полевого миропонимания.

1. **Кopenhагенская интерпретация** является наиболее общепринятой (можно сказать, ортодоксальной). Она была предложена в работах Н. Бора, М. Борна и некоторых других авторов. О сути этой

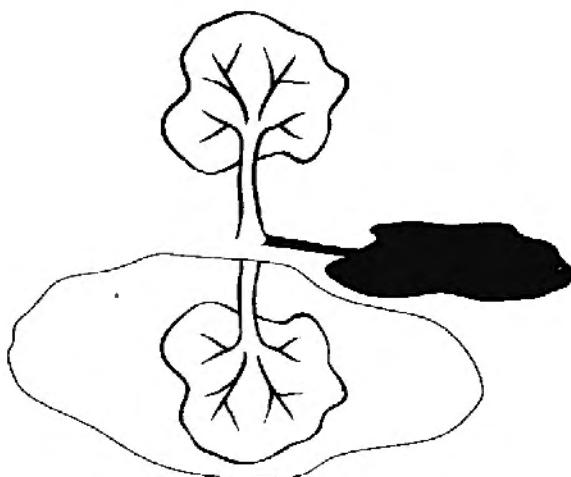


Рис. 5.2. Наглядная иллюстрация корпускулярно-волнового дуализма

интерпретации Макс Борн писал: «Со временем открытия Эйнштейном уравнения для флукутаций становится все более и более очевидным, что природа не может быть описана с помощью частиц или волн в отдельности, а только с помощью более сложной математической теории. Этой теорией является квантовая механика, которая замещает собой обе эти модели и только с определенными ограничениями представляет ту или другую из них» [12, с. 195].

Уже на примере 4-мерного пространства-времени было продемонстрировано, какие трудности возникают всякий раз, когда осуществляется переход к обобщенной физической категории. В данном случае вводится новая категория поля амплитуды вероятности, заменяющая прежние категории частиц и полей, что проявляется в невозможности одновременного измерения координат и импульсов частиц. В копенгагенской интерпретации квантовой механики акцентируется именно этот аспект.

В научно-популярном фильме¹⁾ «Кванты против Ньютона» была сделана попытка наглядно пояснить в духе философии Платона, что такое частица в копенгагенской интерпретации квантовой механики. Зрителю предлагалось изображение растущего на берегу озера дерева, которое отражается в воде и от которого в солнечный день на прибрежный песок падает тень. Естественно, в ветреную погоду отражение на поверхности воды искажается рябью. Ни у кого не возникает сомнения, что ни тень, ни отражение нельзя отождествлять с деревом. Дикторский текст пояснял, что то же происходит и в квантовой механике: частица не является ни корпускулой, ни волной, а есть нечто третье, для чего у нас нет наглядного образа.

¹⁾ Центрнаучфильм, 1969 г. Режиссер В. В. Миллиоти. Научный консультант Ю. С. Владимиров.

В копенгагенской интерпретации квантовой механики обращается внимание на принципиальную ограниченность классических представлений и предлагается математический аппарат, позволяющий преодолеть корпускулярно-волновой дуализм и описать вскрытые закономерности на фоне априорно заданного классического пространства-времени. Подавляющее большинство физиков согласилось с вероятностным характером квантовой механики и приняло как ее математический аппарат, так и копенгагенскую интерпретацию.

Данная парадигма приводит к радикальному изменению характера прежней категории поля переносчиков взаимодействий. Из субстанции, непрерывным образом распределенной в пространстве (-времени), поле превратилось в амплитуду вероятности нахождения дискретных «частиц» в том или ином месте пространства-времени. Это немедленно изменило все миропонимание: принцип абсолютного детерминизма, господствовавший в ньютоновской физике, пришлося заменить на принцип случайности в основаниях мироздания.

Напомним, что раньше естествоиспытатели были убеждены, что все в мире уже предопределено и если что-то в будущем туманно, то это лишь потому, что мы недостаточно знаем все факторы, влияющие на процессы. Стоит их познать, и можно будет точно во всех деталях предсказать будущее. Заметим, что такая уверенность у физиков существовала вопреки опыту всей повседневной жизни, вопреки религиозным представлениям, утверждавшим разные возможности в виде проявлений воли Божьей. Но в начале XX в. физика доросла до признания вероятностных явлений, причем лежащих в самых основаниях физического мироздания — в виде квантовой механики. Это перевернуло понимание соотношения детерминизма и индетерминизма, необходимости и случайности. Если сторонники неоклассической интерпретации квантовой механики стремятся объяснить вероятностный характер физики в микромире, исходя из принципа абсолютного детерминизма, то в копенгагенской интерпретации квантовой механики встает обратная задача: исходя из первичных вероятностных закономерностей, объяснить, как в классической физике возникает иллюзия всеобщего детерминизма.

В копенгагенской интерпретации квантовой механики пространство-время трактуется в духе «промежуточного редукционизма», т. е. оно имеет самостоятельный, можно сказать, априорный характер. Кvantово-механические закономерности вкладываются в известные классические пространственно-временные представления.

2. В статистической интерпретации квантовой механики целиком принимается уже сложившийся математический аппарат и следствия из него, однако ставится вопрос о *неклассических источках* статистического характера квантовой механики. Один из сторонников этого направления Д. И. Блохинцев писал: «Объектом применения квантовой

механики является квантовый ансамбль. Подобно ансамблю Гиббса, квантовый ансамбль образован неограниченным повторением ситуаций, состоящих из определенной макроскопической обстановки M и погруженной в эту обстановку микроскопической системы μ . (...) Оказывается, что существует целая симфония новых статистических закономерностей, управляющих движением микрочастиц и в том случае, когда макроскопические тела, диктующие условия движения микрочастицам, находятся при температуре абсолютного нуля. Эта симфония и есть квантовая механика» [6, с. 28].

Близкие взгляды можно усмотреть в ряде высказываний А. Эйнштейна: «Функция (φ) ни в коем случае не описывает состояние, своеобразное одной единственной системе; она относится скорее к нескольким системам, т. е. к «ансамблю систем», в смысле статистической механики. Если, исключая некоторые особые случаи, функция дает только статистические данные об измеримых величинах, то причина состоит не только в том, что *операция измерения* вносит неизвестные элементы, которые можно уловить лишь статистически, а в самом факте, что функция φ ни в коем смысле не описывает состояния *одной* отдельной системы. (...) Тот факт, что квантовая механика позволяет столь просто получить выводы, касающиеся прерывных переходов (кажущихся) из одного общего состояния в другое, не давая фактически представления об отдельных процессах, связан с другим фактом, а именно, что теория в действительности оперирует не с отдельной системой, а с ансамблем систем» [206, с. 55].

На наш взгляд, в этом подходе обращается внимание на чрезвычайно важное для понимания квантовой механики обстоятельство — на квантовый ансамбль, обусловленный макроприбором.

3. Копенгагенской интерпретации противостоит так называемая **неоклассическая интерпретация квантовой механики**, рассмотренная в предыдущей главе. Напомним, согласно ей, микрочастицы строго подчиняются классическим пространственно-временным закономерностям, а вероятностный характер их поведения пытаются объяснить неизвестными пока воздействиями на микрочастицы — некими скрытыми параметрами, — приводящими к статистическому (приближенному) описанию поведения, но это предлагается считать временным состоянием теории. Этот подход развивается в рамках триалистической метафизической парадигмы, т. е. в работах этого направления предлагаются вернуться назад к классической физике, к строгому детерминизму.

Данная интерпретация разрабатывалась в работах Д. Бома, М. Джаммера, Ф. Белинфанте, их учеников и ряда других авторов.

Достаточно вескую критику попыток вернуться назад дал В. Паули: «Если же, несмотря на логическую замкнутость и математическое изящество квантовой механики, некоторые физики все еще питают на-

дежду, что описанная выше теоретико-познавательная ситуация может оказаться неокончательной, то это, по-моему, обусловлено силой привычки и традиционными формами мышления, которые известны под названием «онтологии» или «реализма». Но физики, не причисляющие себя односторонне к «сенсуалистам», или «эмпирикам», должны поставить вопрос, возможный вследствие того, что эти традиционные формы мышления носят характер постулата, и неизбежный вследствие существования квантовой механики, являются ли эти формы мышления необходимыми условиями для самой возможности физики вообще или же им можно противопоставить другие, более общие формы мышления. Анализ теоретических основ волновой, или квантовой, механики показал, что правильна вторая альтернатива» [124, с. 49]. В этом же ключе высказывались П. Дирак, В. А. Фок и многие другие классики квантовой теории.

4. К неоклассическим интерпретациям примыкает **многомировая интерпретация** квантовой механики, предложенная в 1957 г. Г. Эвереттом и поддержанная Б. Девиттом и рядом других исследователей. Она основана на трактовке волновой функции частиц как совершенно реального физического объекта, эволюционирующего во времени, согласно уравнению Шредингера. При этом неизбежно встает проблема редукции (схлопывания в точку) волнового пакета в акте обнаружения этой частицы в каком-то месте. В данном подходе предлагается заменить проблему редукции на явление ветвления (расщепления) мира в точках-процессах. Полагается, что в мире реализуются все возможные процессы (возникает множество копий мира), но наблюдатель видит лишь одну из возможностей¹⁾.

По сути дела, в многомировой интерпретации квантовой механики применяется прием, давно использующийся в теории пространства и времени. К точкам-событиям, где произошли события, добавляется континуум лишних точек, составляющих пространственно-временное многообразие. Точно так же в данной интерпретации к реально осуществившемуся варианту процесса добавляется множество (может быть, континуум) всех других возможных вариантов, но не осуществившихся. Как нам представляется, ряд проблем в современной теории поля связан именно с введением лишних точек пространственно-временного континуума.

В самом конце XX в. обсуждались еще так называемая **брюссельская** и ряд других интерпретаций квантовой механики.

¹⁾Согласно многомировой интерпретации квантовой механики, человек, попавший под автомобиль, но еще сохранивший проблески сознания, не должен этим згорчаться, а сохранять уверенность, что он попал в катастрофу лишь в одной из копий миров, а в других он ее избежал и продолжает жить.

5.4. Формальные основания квантовой механики

В конце 50-х – начале 70-х гг. XX в. значительные усилия физиков-теоретиков были нацелены на разработку аксиоматики квантовой теории. Предпринимались попытки на строгой математической основе разобраться в том, какие принципы и понятия заложены в фундамент квантовой теории поля (квантовой механики). На основе этого анализа надеялись понять источник трудностей квантовой теории как концептуального, так и технического характера, в частности прояснить причины возникновения расходимостей. Примечательно, что за исходные стремились выбрать не те положения, которые непосредственно связаны со свойствами классического пространства-времени, а некоторые абстрактные принципы: суперпозиции, причинности, симметрии, аналитичности и другие.

5.4.1. Аксиоматика квантовой механики

Следует напомнить, что, во-первых, разработка аксиоматики представляет собой метафизическую задачу. Во-вторых, при построении аксиоматики вольно или невольно закладывается та или иная метафизическая парадигма. В-третьих, всякая аксиоматика лишь уточняет и систематизирует сложившиеся представления, а в данном случае это была квантовая теория в копенгагенской интерпретации, т. е. в ней так или иначе были представлены свойства классического пространства-времени. Тем не менее анализируя систему примитивов и аксиом, составляющую фундамент квантовой теории, удается выделить ряд ключевых положений (понятий и закономерностей), общих как для дуалистической, так и монистической парадигмы в виде бинарной геометрофизики, обсуждаемой в пятой части.

Принято различать квантовую механику и квантовую теорию поля, где используются методы вторичного квантования. Сначала обсудим аксиоматику **квантовой механики**, придерживаясь ее изложения в книге П. А. М. Дирака «Принципы квантовой механики», в которой автор фактически стремился выйти на монистическую парадигму или, по крайней мере, обратиться к макропонятиям как можно позже. В качестве ключевых понятий (примитивов аксиоматики) Дирак выбрал *состояние системы* (из частиц и переносчиков взаимодействий) и *динамические переменные*. Он писал: «Состояния и динамические переменные должны характеризоваться математическими величинами другой природы, чем те, которые обычно используются в физике. Новая схема станет точной физической теорией, если будут перечислены все аксиомы и правила действия для математических величин и если, кроме того, будут установлены некоторые законы, связывающие физические факты с математическим аппаратом» [55, с. 31].

Аксиоматика квантовой механики Дирака, как и аксиоматика геометрии, состоит из нескольких блоков, причем можно установить соответствие этих блоков аксиом с тремя блоками в аксиоматике геометрии пространства-времени, описанной в гл. 2. Прежде чем это сделать, перечислим блоки аксиом гильбертова пространства.

I. Аксиомы векторного пространства. В качестве исходного момента для развертки аксиоматики выбран *принцип суперпозиции* для состояний квантовомеханических систем, который можно усмотреть уже в волновых уравнениях квантовой механики. Поскольку они линейны, то обладают тем свойством, что сумма двух решений также является решением, а каждое решение трактуется как состояние. Этот принцип не имеет прямого классического аналога. «В классическом смысле слова нельзя представить себе, что система находится частично в одном состоянии, а частично в другом, и что это эквивалентно тому, что система целиком находится в некотором третьем состоянии. Здесь вводится совершенно новая идея, к которой нужно привыкнуть и на основе которой следует далее строить точную математическую теорию, не имея при этом детальной физической картины» [55, с. 29].

Математическая реализация этой идеи достигается в рамках понятий **векторов**, точнее, элементов линейного векторного пространства. Как известно из геометрии, сумма двух векторов также является вектором. Отличие от привычных векторов заключается в том, что обычно имеют дело с векторами в пространствах конечного числа измерений, а в данном случае пространства могут быть бесконечномерными. Дирак разработал специфическую систему обозначений, в которой вектор A изображается в обрамлении сориентированной скобки (кет) вида $|A\rangle$. Названное выше свойство суперпозиции означает, что любым двум векторам $|A\rangle$ и $|B\rangle$ из данного линейного векторного пространства однозначно сопоставлен третий элемент этого же векторного пространства, что в обозначениях Дирака записывается следующим образом

$$|A\rangle + |B\rangle = |C\rangle. \quad (5.4.1)$$

Определенная в линейном векторном пространстве операция сложения векторов обладает обычными свойствами:

- а) коммутативности $|A\rangle + |B\rangle = |B\rangle + |A\rangle$;
- б) ассоциативности $(|A\rangle + |B\rangle) + |C\rangle = |A\rangle + (|B\rangle + |C\rangle)$.

Кроме того, постулируется существование нулевого состояния (нулевого вектора) $|0\rangle$ такого, что $|A\rangle + |0\rangle = |A\rangle$.

Эти свойства означают, что состояния (векторы) образуют *абелеву группу*.

Для элементов линейного векторного пространства также определена операция умножения на комплексные числа, обладающая свой-

ством дистрибутивности. Напомним, это означает, что если $a, b \in C$, где C — поле комплексных чисел, то имеют место соотношения:

- а) $a(|A\rangle + |B\rangle) = a|A\rangle + a|B\rangle;$
- б) $(a + b)|A\rangle = a|A\rangle + b|A\rangle;$
- в) $0 \cdot |A\rangle = |0\rangle.$

Принцип суперпозиции и связанное с ним линейное векторное пространство составляют устойчивое ядро многих аксиоматик квантовой механики (теории).

Перечисленные свойства в совокупности определяют *линейное векторное пространство*. Легко проверить выполнимость всех этих свойств для решений линейных волновых уравнений, записанных ранее. Заметим также, что эти свойства, как правило, нарушаются в случае нелинейных уравнений. Это послужило одной из основных причин неудач при разработке программ построения единой нелинейной теории поля.

II. Аксиомы скалярного произведения. В линейном векторном пространстве нет понятия длины. Строго говоря, два вектора, отличающиеся комплексным множителем, следует считать за один и тот же вектор, т. е. свойств линейного векторного пространства недостаточно для построения квантовой теории. Для определения амплитуды вероятности процессов необходимо ввести в векторное пространство *операцию скалярного произведения векторов*, означающую, что каждой паре элементов $|A\rangle, |B\rangle$ линейного векторного пространства поставлено в соответствие комплексное число, — своеобразная метрика. Отметим, что понятие метрики составляет собой другой примитив аксиоматики.

Важно отметить, что для определения операции скалярного произведения Дираку и другим потребовалось внести пространство со-векторов, строящееся из элементов пространства векторов: каждому вектору $|B\rangle$ соответствует со-вектор $\langle B|$, изображаемый в иначе ориентированных обкладках (брэк). Скалярное произведение вектора $|B\rangle$ на $|A\rangle$ изображается в виде символа упорядоченного $\langle B|A\rangle$, где вместо первого вектора берется со-вектор, а вертикальные линии двух составных частей совмещаются друг с другом. Таким образом, в обозначении скалярного произведения два вектора оказываются заключенными в своеобразные скобки. (По-английски bracket (скобка) состоит из двух слогов: brac (брэк) и ket (кст).)

Скалярные произведения обладают следующими свойствами:

- а) $\langle B|A\rangle = \overline{\langle A|B\rangle}$, где черта сверху означает комплексное сопряжение, т. е. перестановка местами двух векторов приводит к комплексно сопряженному результату;
- б) $\langle aA|B\rangle = a\langle A|B\rangle$ — множитель (С-число) выносится за знак скобки;

- в) $(\langle A| + \langle B|)|C\rangle = \langle A|C\rangle + \langle B|C\rangle;$
- г) $\langle A|A\rangle > 0$, если $|A\rangle \neq |0\rangle$. В этом выражении введена *длина* (*норма*) вектора, которая характеризуется вещественным положительным числом.

Перечисленные два блока свойств определяют так называемое *унитарное* или *предгильбертово* пространство.

Этот блок аксиом квантовой механики имеет глубокое метафизическое содержание, особенно важное для интерпретации квантовой механики в монистической парадигме. Во-первых, определение векторов и со-векторов состояний можно понимать как проявление двух противоположностей платоновской диалектики — двух сторон единого (двухединого) первоначала. Во-вторых, в данном блоке аксиом определено скалярное произведение векторов, описывающих начальное и конечное состояния системы. Комплексное число, которым характеризуется скалярное произведение, описывает амплитуду вероятности перехода между этими состояниями — третье метафизическое начало квантовой механики, соответствующее аристотелевской сущности. Таким образом, в этом блоке аксиом заложена как двоичность, так и троичность метафизической системы (монистической парадигмы).

III. Гильбертово пространство. В квантовой теории используется векторное пространство с условиями непрерывности (полноты). Не будем выписывать все необходимые для этого понятия и определения, полагаясь на интуицию читателя, знающего хотя бы в общих чертах, как в математике определяется непрерывность. Отметим, что Дирак также уходит от деталей, заявляя: «Пространство векторов и со-векторов, имеющих конечную длину и конечное скалярное произведение, называется математиками *пространством Гильberta*» [55, с. 65].

Однако следует заметить, что в квантовой теории фактически используются более общие пространства, чем пространство Гильберта, так как во многих случаях встречаются векторы с бесконечной длиной. Это подсказывает, что в данном блоке аксиом содержатся некоторые избыточные условия на квантовомеханические системы. Впрочем, это характерно и для аксиоматики геометрии пространства-времени, где кроме точек с реальными частицами рассматриваются и все промежуточные (пустые) точки.

Установим следующие параллели между примитивами аксиоматики гильбертова пространства, аксиом геометрии и ключевыми физическими категориями:

- 1) состояние системы — геометрическая точка — категория частиц;
- 2) скалярное произведение — метрика — категория переносчиков взаимодействий;
- 3) непрерывные множества — категория пространства-времени.

В этом случае аксиоматика векторных пространств в какой-то мере заменяет аксиомы порядка в геометрии, аксиомы скалярного произведения векторов соответствуют метрическим аксиомам в геометрии, а понятие непрерывности (полноты) в пространстве Гильберта — топологическим аксиомам в геометрии.

Подчеркнем, что здесь речь идет не о полном соответствии, а лишь о параллелях в двух аксиоматиках.

5.4.2. Представления и динамические переменные

Аксиом гильбертова пространства недостаточно для построения квантовой теории, — необходимо их дополнить рядом других положений. Данную ситуацию следует уподобить положению, в котором в свое время оказался Аристотель. Сформулировав философию триединства, он был не в состоянии лишь на ее основе развернуть теорию физического мира, — пришлось вводить множество других категорий и аксиом, которые позволили систему Аристотеля назвать физической теорией. В такой же ситуации оказался Дирак и другие физики-теоретики, разрабатывавшие аксиоматику квантовой теории. В разных аксиоматиках (Лемана, Симанзика, Циммермана и других авторов) вводилась совокупность дополнительных аксиом, среди которых так или иначе были представлены аксиомы (свойства) классического пространства-времени: частичной упорядоченности (свойства причинности), релятивистской инвариантности и другие.

В аксиоматике квантовой механики Дирака дополнительные положения были представлены следующими двумя блоками аксиом, типичными для дуалистической парадигмы (кopenhагенской интерпретации):

I. Представления. В уже рассмотренных положениях квантовой механики (теории) фигурировали волновые функции и уравнения поля, что фактически означало использование так называемого координатного представления (q -представления), когда состояния описывались решениями волновых уравнений — некоторыми числовыми функциями от координат $\psi(x)$. Такое описание векторов состояний можно считать соответствующим философской системе Платона, — числа (или совокупность чисел) связывались с материальным объектом. Однако аксиоматика гильбертова пространства больше соответствует философской системе Аристотеля, так как состояния, охарактеризованные системой аксиом векторного пространства, еще не описываются числами. Числовые характеристики появляются лишь после введения другого примитива — скалярного произведения вектора на со-вектор (метрики), т. е. благодаря третьей стороне единой сущности. В обозначениях Дирака это означает

$$\psi(x) \rightarrow \langle q | A \rangle, \quad (5.4.2)$$

где скалярное произведение вектора $|A\rangle$ на особый со-вектор $\langle q|$ превращает вектор состояния в комплексное число, трактуемое как значение функции (амплитуды вероятности пребывания) в некоторой координате $q = x$.

Координатное представление означает постулирование некоего особого класса со-векторов, который, как будет отмечено ниже, теснейшим образом связан с понятием классического макроприбора.

Однако имеется и другое представление — импульсное (*p*-представление), также связанное с макроприборами, однако иного устройства. Координатное и импульсное представления (для одной степени свободы) связаны друг с другом через известные преобразования Фурье:

$$\langle p|A\rangle = \frac{1}{\sqrt{\hbar}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-iqp/\hbar} \langle q|A\rangle dq \rightarrow \psi(p), \quad (5.4.3)$$

$$\langle q|A\rangle = \frac{1}{\sqrt{\hbar}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-iqp/\hbar} \langle p|A\rangle dp \rightarrow \psi(x). \quad (5.4.4)$$

Таким образом, каждый из представителей с точностью до множителя является фурье-образом другого.

Чрезвычайно важное значение имеет экспоненциальный множитель $\exp(iqp/\hbar)$, который в конце концов ответственен за появление принципа неопределенностей Гейзенberга

$$\Delta q \Delta p \geq \hbar. \quad (5.4.5)$$

Классическая вероятность ρ перехода квантовой системы из одного состояния в другое находится как произведение амплитуды вероятности процесса на комплексно сопряженное выражение. Выше это было названо своеобразным «извлечением квадратного корня» из классической вероятности.

Следует обратить внимание на обратный ход рассуждений в данной аксиоматике по сравнению с наиболее распространенными изложениями квантовой механики. Часто исходят из координатного представления, т. е. из понятий, непосредственно связанных с классическим пространством-временем, и затем на их основе говорят о свойствах суперпозиции, нормы и т. д. В данном изложении напротив — исходными являются принцип суперпозиции и другие аксиомы гильбертова пространства, а все классические понятия проявляются через представления и операторы динамических переменных.

О роли координатного представления в квантовой теории достаточно четко сказано в книге Х. Грина, посвященной матричной (гейзенберговской) формулировке квантовой механики: «В большинстве книг по квантовой механике основной упор делается на ее волновой аспект, возможно, из-за того, что он считается более доступным для тех, кто уже в достаточной мере знаком с дифференциальными уравнениями.

Однако до тех пор пока читатель не осознает, что волновая механика есть лишь особый способ квантовомеханического описания (координатное представление), он всегда будет склонен подпасть под влияние тех же идей о важности координатного представления и физической значимости волновой функции, которые ввели в заблуждение некоторых величайших физиков нашего времени. Можно значительно выиграть в понимании физической сущности квантовой механики, знакомясь с ней в том виде, в каком она была впервые изложена Борном и Йорданом» [52, с. 17]. Добавим к этому еще книгу Дирака, использованную при изложении данного материала.

II. Аксиомы линейных операторов. Как уже отмечалось, любая информация о микросистеме может быть получена на языке наблюдателя, оперирующего лишь с классическими понятиями. Это означает, что в теории должен присутствовать иский блок из математических величин и приемов, позволяющий извлекать из состояний квантовых систем данные, понятные наблюдателю, т. е. необходимо уметь обратно возвращаться от обобщенных категорий к понятиям триалистической парадигмы.

Во всех учебниках по квантовой механике подчеркивается, что для получения классических характеристик микрочастиц необходимы физические объекты, которые сами описываются классическими понятиями, т. е. нужны макрообъекты. Процесс измерения сводится к взаимодействию микрочастицы с макрообъектом, состояние которого изменяется. Это изменение служит количественной характеристикой тех или иных свойств микрочастиц. Математически это выражается с помощью операторов (линейных операторов), действующих на волновую функцию частиц. В квантовой механике операторы соответствуют некоторым идеализированным макроприборам. Различают макроприборы, которые служат для измерения координат частиц или для измерения их импульсов. Это два предельных случая.

Линейные операторы в самом общем случае представляют собой функции, ставящие в соответствие одному состоянию $|A\rangle$ некоторое другое состояние $|F\rangle$, так что

$$\hat{\alpha}|A\rangle = |F\rangle, \quad (5.4.6)$$

где символом $\hat{\alpha}$ обозначен линейный оператор.

Линейные операторы, которые будем обозначать греческими буквами со шляпкой, обладают рядом привычных свойств, аналогичных свойствам векторов состояний:

- а) $\hat{\alpha}(|A\rangle + |B\rangle) = \hat{\alpha}|A\rangle + \hat{\alpha}|B\rangle;$
- б) $\hat{\alpha}(c|A\rangle) = c\hat{\alpha}|A\rangle;$

- в) $(\hat{\alpha} + \hat{\beta})|A\rangle = \hat{\alpha}|A\rangle + \hat{\beta}|A\rangle$;
 г) $(\hat{\alpha}\hat{\beta})|A\rangle = \hat{\alpha}(\hat{\beta}|A\rangle)$.

При этом следует особо подчеркнуть, что в общем случае операторы не обладают свойством коммутативности, т. е. результат их действия зависит от их порядка.

Как пишет Дирак, «*линейные операторы соответствуют динамическим переменным в тот же момент времени*. Под динамическими переменными следует понимать такие величины, как координаты, компоненты скорости, импульса или момента количества движения частиц, а также функции от этих величин, т. е. все те переменные величины, которые используются при построении классической механики. Из нового предположения следует, что эти величины должны встречаться также и в квантовой механике, однако характерной особенностью является то, что *теперь эти величины подчиняются алгебре, в которой не выполняется коммутативный закон умножения*» [55, с. 45]. Это важное утверждение (вместе со свойствами представлений) связывает аксиомы гильбертова пространства с классическим пространством-временем и всеми сопутствующими ему понятиями, составляя математический аппарат квантовой теории.

Важное место занимают понятия собственных векторов и собственных значений операторов. Наиболее, что если для некоторого оператора \hat{a} и некоторого вектора $|A\rangle$ имеет место соотношение

$$\hat{a}|A\rangle = a|A\rangle, \quad (5.4.7)$$

где a — некоторое число, то вектор $|A\rangle$ называется *собственным вектором*, а число a — *собственным значением* данного оператора \hat{a} . Особое значение имеют операторы, обладающие вещественными собственными значениями, называемые *эрмитовыми операторами*. Именно через эрмитовы операторы в теорию вводятся наблюдаемые величины.

Так, в координатном представлении операторы импульса и координаты имеют вид:

$$\hat{p}_\mu = i\hbar \frac{\partial}{\partial x^\mu}; \quad \hat{x}^\mu = x^\mu, \quad (5.4.8)$$

а в импульсном представлении

$$\hat{p}_\mu = p_\mu; \quad \hat{x}^\mu = i\hbar \frac{\partial}{\partial p_\mu}. \quad (5.4.9)$$

Операторы импульсов в координатном представлении уже использовались ранее при записи волновых уравнений.

В квантовой механике невозможно одновременное измерение положения частицы и ее импульса. Это выражается посредством некоммутативности их операторов и соответствующего им принципа неопределенности.

Еще раз подчеркнем, что этот блок аксиом соответствует именно дуалистической парадигме физического миропонимания.

5.4.3. Макроприбор и принцип суперпозиции

Относительно изложенной выше конструкции (аксиоматики) квантовой механики был высказан ряд критических замечаний концептуального характера. Среди них особого внимания заслуживают замечания известных авторов об отображении роли *макроприбора* в аксиоматике квантовой теории, причем это касается как аксиом гильбертова пространства, так и дополнительных положений. Так, В. А. Фок как редактор перевода на русский язык цитированной выше книги П. А. М. Дирака выразил несогласие с трактовкой в ней понятия состояния: «Само понятие состояния трактуется по всей книге так, как если бы оно принадлежало атомному объекту самому по себе, в отрыве от средств наблюдения. Такая абсолютизация понятия «квантовое состояние» приводит, как известно, к парадоксам. Эти парадоксы были разъяснены Нильсом Бором на основе представления о том, что необходимым посредником при изучении атомных объектов являются средства наблюдения (приборы), которые должны описываться классически» [55, с. 9].

Эта мысль развивается В. А. Фоком в его книге «Начала квантовой механики»: «Положив в основу нового способа описания результаты взаимодействия микрообъекта с прибором, мы тем самым вводим важное понятие *относительности к средствам наблюдения*, обобщающее давно известное понятие относительности к системе отсчета. Такой способ описания отнюдь не означает, что мы приписываем объекту меньшую степень реальности, чем прибору, или что мы сводим свойства объекта к свойствам прибора. Напротив, описание на основе понятия относительности к средствам наблюдения дает гораздо более глубокую и тонкую объективную характеристику микрообъекта, чем это было возможно на основе идеализаций классической физики. Такая характеристика требует и более развитого математического аппарата — теории линейных операторов, их собственных значений и собственных функций, теории групп и других математических понятий» [176, с. 15].

Другими словами, в *ключевом примитиве квантовой теории — состоянии микрообъектов неявно присутствует понятие макроприбора (средств наблюдения)*, недостаточно отраженное в аксиоматике Дирака (и в ряде других аксиоматик квантовой теории).

Особо следует остановиться на аналогии между ролями макроприбора в квантовой механике и системы отсчета в теории относительности. Так В. А. Фок писал: «Понятие относительности к средствам наблюдения (в квантовой механике. — Ю. В.) есть в известном смысле обобщение понятия относительности к системе отсчета. Оба понятия играют в соответствующих теориях аналогичную роль. Но в то время как теория относительности, которая опирается на понятие относительности

к системе отсчета, учитывает лишь движение средств наблюдения как целого, в квантовой механике необходимо учитывать и более глубокие свойства средств наблюдения» [177, с. 73].

Аналогичные мысли высказывал В. Паули, предлагавший даже называть квантовую теорию «теорией дополнительности» по аналогии с названием «теория относительности»: «Строго определенные, подчас комплементарные условия эксперимента в квантовой механике играют роль строго определенных состояний движения наблюдателя в эйнштейновской теории относительности. Конечная величина кванта действия, ставящая границу непрерывности явлений на атомном уровне, играет роль предельной скорости распространения сигнала в эйнштейновской специальной теории относительности. Группа унитарных преобразований, охватывающая все возможно допустимые варианты условий эксперимента, в квантовой механике играет роль группы преобразований координат, связывающей в общей теории относительности все возможные состояния движения наблюдателя и соответствующие этим состояниям результаты произведенных им измерений» [124, с. 192].

Интересно сопоставить данные высказывания В. А. Фока и В. Паули с уже упоминавшимися выше соображениями Д. И. Блохинцева о статистической природе квантовой механики. Он пишет: «Будет правильным сказать, что квантовая механика изучает микромир в его отношении к макромиру. Макроскопические (классические) приборы являются теми системами отсчета, по отношению к которым в квантовой теории определяется состояние микросистем» [6, с. 84]. В другом месте у Блохинцева сказано: «Волновая функция не есть величина, определяющая статистику какого-то специального измерения; она является величиной, определяющей статистику квантового ансамбля, т. е. статистику любого измерения, совместимого с природой микросистемы μ и той макроскопической установки M , которая диктует условия движения для микросистемы μ » [6, с. 35].

Из сопоставления всех этих соображений естественно встает вопрос о физической подоплеке принципа суперпозиции, составляющего первый блок аксиом гильбергова пространства (квантовой механики). Если в *ключевом примитиве аксиоматики квантовой теории — состоянии — микрообъект и макроприбор нераздельно связаны, то спрашивается: к чему из них в большей мере следует отнести наличие принципа суперпозиции?*

Позицию Блохинцева можно понимать так, что этот принцип следует отнести к свойствам квантового статистического ансамбля, присущего макроприбору. Однако тогда возникает другой вопрос: каковы факторы этого ансамбля? (Конечно, здесь не может идти речь о скрытых параметрах, действующих в рамках классического пространства-времени, предлагавшихся в работах многих авторов, — возврата к классическим

представлениям быть не может.) В рамках копенгагенской интерпретации квантовой механики оказалось довольно трудно прояснить этот вопрос, однако он довольно естественно разрешается в рамках реляционного видения мира, изложенного в четвертой части этой книги. Забегая вперед, отметим, что решение кроется в элементарных системах отношений, составляющих макроприбор и являющихся прообразом классических систем отсчета в микромире.

Конечно, понятие макроприбора играет важную роль и в определении представления (как координатного, так и импульсного), и в аксиомах линейных операторов. Но оно также связано и с третьим блоком аксиом (полноты) гильбертова пространства, точнее, его обобщений до признания возможности векторов состояния с бесконечной длиной. Как известно, такое проявляется при описании сплошных спектров собственных значений. К таковым следует отнести значения координат или импульсов несвязанных частиц. По этому поводу Дирак писал: «Собственное состояние, относящееся к собственному значению в сплошном спектре, является математической идеализацией того, что может быть достигнуто практически. (...) Возможно, что бесконечная длина собственных векторов, соответствующих этим собственным состояниям, связана с их неосуществимостью, и что всем осуществимым состояниям соответствуют такие векторы, которые могут быть нормированы и образуют гильбертово пространство» [55, с. 76].

Это можно воспринимать как указание на то, что в аппарате квантовой теории заложено нечто лишнее — представления о физически нереализуемых макроприборах.

5.5. Метафизический анализ теоретико-полевого миропонимания

Проанализируем изложенное в этой главе с позиций метафизики.

1. Прежде всего, следует отметить, что в квантовой теории проявляется метафизический принцип цельности. Ключевыми положениями теории являются волновые уравнения, в которых представлены обе используемые в теории категории: они представляют собой выражения, в которых волновая функция, представляющая категорию поля амплитуды вероятности, дифференцируется по координатам, соответствующим категории пространства-времени.

2. В двух ключевых категориях данной дуалистической парадигмы довольно отчетливо проявляется метафизический принцип фрактальности. Проиллюстрируем его в виде 3×3 -таблиц, приведенных в гл. 4 при анализе триадистической метафизической парадигмы. Поскольку теоретико-полевая дуалистическая парадигма опирается на две категории:

обобщенную категорию поля амплитуды вероятности, вовравшую в себя категории частиц и полей переносчиков взаимодействий, и на категорию пространства-времени, то в таблицах, иллюстрирующих фрактальность в данной парадигме, этот факт отображается пустой нижней строкой, соответствующей категории частиц, а направленные вверх стрелки означают, что роль этой категории берет на себя категория поля амплитуды вероятности.

3. Фрактальность по сущности проиллюстрирована таблицей ((5.5.1)).

Теоретико-полевая парадигма: фрактальность по сущности

	Пространство-время	Поля	Частицы
Пространство-время	Области	Метрика (расстояние, интервал)	Точки (мировые линии)
Категория амплитуды вероятности	Свойства полноты	Скалярные произведения векторов	Векторы состояния ↓ ↓
Категория частиц	↑ ↑	↑ ↑ .	↑ ↑

(5.5.1)

Категория пространства-времени здесь оставлена той же, что и в триалистической парадигме, достаточно полно охарактеризованной в виде аксиоматики геометрии, где в качестве трех составляющих выступают 4-области, метрика и точки.

В особом пояснения нуждается категория поля амплитуды вероятности (ей соответствует вторая строка табл. (5.5.1)). Как уже отмечалось, свойства этой обобщенной категории определяются тремя группами аксиом гильбертова пространства (им соответствуют три ячейки второй строки): 1) аксиомы линейного векторного пространства; 2) аксиомы скалярного произведения; 3) аксиомы (условия) полноты или непрерывности, дополняющие унитарное (предгильбертово) пространство с двумя выше названными блоками аксиом до гильбертова пространства.

Легко просматриваются параллели между примитивами и аксиомами геометрии и гильбертова пространства. При этом аксиомы скалярного произведения векторов соответствуют в геометрии метрическим аксиомам, а понятие непрерывности (полноты) в пространстве Гильberta — топологическим аксиомам в геометрии.

4. Фрактальность по качеству более подробно будет охарактеризована в следующей главе, где рассматриваются взаимодействия между полями. Здесь же ограничимся более простой 3 × 2-таблицей (5.5.2),

не затрагивающей разделения полей по специфическим свойствам, рассмотренным в следующей главе.

Теоретико-полевая парадигма: фрактальность по качеству

	Пространство-время	Поля и частицы
Пространство-время	Пространство-время Минковского	Пространство скоростей (импульсов)
Категория амплитуды вероятности	Бозонные поля	Фермионные поля
Категория частиц	↑ ↑	↑ ↑

(5.5.2)

На этом уровне развития данной парадигмы фрактальность по качеству соответствует разделению полей по трансформационным свойствам: на тензорные (скалярные, векторные, тензорные второго ранга и т. д.) поля и на фермионные поля (половинного спина).

5. Особое значение приобретает фермионный характер полей. Как было указано, понятие спинора возникло из желания перейти от полевых дифференциальных уравнений второго порядка к уравнениям первого порядка, что означало, что новые спинорные компоненты поля приняли на себя роль первых производных от исходных (скалярных) полевых функций. В итоге получилось так, что величины, пропорциональные скорости (компоненты 4-тока, 4-импульса или просто 4-скоростей, в зависимости от того, на что нормируется спинорная волновая функция), определяются алгебраическими выражениями вида $\bar{\psi} \gamma_\mu \psi$.

С другой стороны, в квантовой теории оператор импульса (в координатном представлении) определяется через дифференцирование по координатам (5.4.8). Это означает, что при описании спинорных полей имеются два вида величин, пропорциональных скорости: алгебраическое и дифференциальное. Этот факт отображен в написании лагранжиана спинорного поля (5.2.14), где первое слагаемое справа с точностью до коэффициента соответствует квадрату 4-скорости в релятивистском соотношении $u^\mu u_\mu = 1$, а второе слагаемое, опять таки с точностью до коэффициента, соответствует единице. Инвариант $\bar{\psi} \psi$ содержит в себе вид нормировки волновой функции на заряд или массу, тогда как значение массы покоя m с другими коэффициентами соответствует определению через оператор дифференцирования именно импульса. Тот же самый смысл заключен и в уравнениях Дирака, получаемых из лагранжиана вариационным методом.

6. Фрактальность по количеству в данной парадигме теряет смысл вследствие специфики квантовой теории. Дело в том, что понятие векторов состояний и аксиомы гильбертова пространства относятся к описанию **микромира**, т. е., строго говоря, к элементарным (одиночным) звеньям микропроцессов, тогда как классическая физика (теория относительности) описывает соотношения между осуществившимися событиями в огромном их множестве. Классические понятия возникают из сравнения одного большого числа событий с каким-то числом других эталонных событий. Используемая в квантовой механике категория пространства-времени присуща именно **макромиру**.

7. Трудности в осознании сущности квантовой механики и в ее интерпретациях обусловлены именно обобщенным характером ключевой категории поля амплитуды вероятности. Эта категория не сводится ни к одной из классических категорий: ни к частицам, ни к полям в классическом их понимании, тогда как ряд лиц желает эту категорию проинтерпретировать именно в классическом духе.

Этот аспект данной обобщенной категории можно соотнести с трактовкой Первоначала (Бога) в христианстве. Оно представляет собой единую (обобщенную) категорию — первоисточник всего сущего. В попытках охватить разумом эту сущность используется апофатика и катафатика. Апофатические утверждения касаются того, чем не является рассматриваемый объект. В данном случае поле амплитуды вероятности не является ни частицей, ни полем в классическом его понимании. Катафатические утверждения относятся к положительным сведениям об объекте. В данном случае таковыми являются полевые уравнения, которым удовлетворяет поле амплитуды вероятности.

Забегая вперед, отметим, что в последней части данной книги проводится аналогия между видами и содержанием философско-религиозных учений и тремя видами физических миропониманий. Там показывается, что теоретико-полевое миропонимание имеет много общих моментов с религиозными представлениями. Это было замечено классиками квантовой теории: Н. Бором, В. Паули, В. Гейзенбергом и другими, которые отмечали, что с созданием квантовой теории соотношение науки и религии предстает в новом свете.

Глава 6

Калибровочная теория физических взаимодействий

В теоретико-полевом миропонимании поля частиц и переносчиков взаимодействий рассматриваются на равной ноге, однако между ними имеется существенное различие, проявляющееся в том, что частицы описываются фермионными полями, а переносчики взаимодействий, также квантуемые и в этом смысле тоже понимаемые как частицы, характеризуются бозонными полями. В теории поля был найден способ введения бозонных полей не волевым образом, а посредством постулирования неких внутренних симметрий у фермионных полей (частиц), точнее, посредством введения пространства их внутренних симметрий. В таком подходе бозонные поля переносчиков взаимодействий, называемые калиброчноными полями, выступают как проявления пространств внутренних симметрий. При этом принципиально важно, что пространство внутренних симметрий связано с координатным пространством. Это обстоятельство можно трактовать как своеобразное обобщение классического 4-мерного пространства-времени, в которое вкладываются фермионные поля. По этой причине класс калибровочных теорий

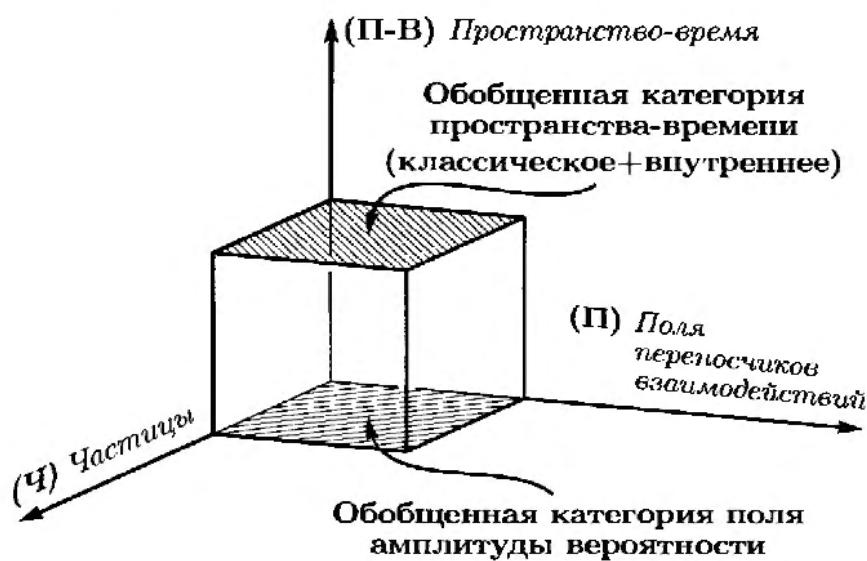


Рис. 6.1. Второй вид дуалистической парадигмы теоретико-полевого миропонимания

можно отнести к дуалистической теоретико-полевой парадигме второго типа, где используется обобщенная категория пространства-времени. Этот тип теорий проиллюстрирован рис. 6.1, на котором обобщенная категория пространства-времени изображена в виде второй (верхней) заштрихованной грани куба, параллельной нижней грани рис. 5.1. Эта грань выражает тот факт, что данная обобщенная категория вмещает в себя как категорию частиц, так и полей переносчиков взаимодействий.

6.1. Симметрии и калибровочный подход к описанию взаимодействий

Возможно, историки физики назовут XX в., особенно его вторую половину, эпохой симметрий. Действительно, понятие симметрии физических систем, строго описываемое на языке теории групп, буквально пронизывает все содержание теоретической физики на рубеже XX и XXI вв.

Напомним, что законы сохранения основных динамических величин обычно вводятся в связи со свойствами симметрии пространства-времени Минковского. Так, закон сохранения энергии обусловлен свойством однородности времени, закон сохранения импульса обязан однородности пространства, закон сохранения момента импульса — свойству изотропности пространства (т. е. равноправия всех направлений в пространстве). Все это справедливо как в классической, так и в квантовой механике, причем в квантовой механике и в теории элементарных частиц понятие симметрии имеет еще большее значение, нежели в классической механике. Именно требования симметрии играют ключевую роль при написании действия или плотности лагранжиана физической системы, взаимодействующей тем или иным образом.

Если в механике рассматривается система свободных частиц (не взаимодействующих друг с другом и с окружающими объектами), то для нее выполняются законы сохранения механической энергии, импульса, момента импульса. Учет (введение) взаимодействия частиц с окружающими телами в общем случае нарушает законы сохранения их динамических характеристик, что можно понимать как нарушение соответствующих симметрий. Для частиц оказываются неэквивалентными положения в пространстве или некоторые направления. Но законы сохранения и симметрии можно восстановить, если ввести потенциальную энергию частиц, т. е. поля, через которые осуществляются их взаимодействия с окружающими телами, и далее рассматривать полную систему из совокупности частиц (тел) и полей. Для полной системы уже будут выполняться законы сохранения.

Данный простой прием и лежит в основе принятого в рамках теоретико-полевого видения мира калибровочного подхода к описанию фун-

даментальных физических взаимодействий. Своеобразие состоит в том, что в дополнение к известным симметриям плоского 4-мерного пространства-времени вводятся так называемые *внутренние симметрии* элементарных частиц. Этим симметриям соответствуют новые сохраняющиеся величины и новые поля, позволяющие говорить о законах сохранения для суммарных систем из частиц и этих полей.

В связи с этим приведем высказывание В. Гейзенберга метафизического характера: «Существующие экспериментальные доказательства довольно основательно свидетельствуют в пользу идеи, что можно говорить о фундаментальных симметриях. Закон природы, лежащий в основе спектра частиц, их взаимодействий, строения и истории космоса, определяется, вероятно, некоторыми фундаментальными симметриями, например инвариантностью при преобразованиях Лоренца, вращениях в изомпространстве, изменениях масштаба и т. д. Поэтому можно сказать, что современное развитие физики повернулось от философии Демокрита к философии Платона. В самом деле, именно в соответствии с убеждениями Платона, если мы будем разделять материю все дальше и дальше, мы в конечном счете придем не к мельчайшим частицам, а к математическим объектам, определяемым с помощью их симметрии, платоновским телам и лежащим в их основе треугольникам. Частицы же в современной физике представляют собой математические абстракции фундаментальных симметрий» [44, с. 88].

Рассматриваемый в этой главе калибровочный подход опирается на два ключевых положения: во-первых, на убеждение, что в основу физики должны быть положены симметрии, точнее, симметрии, описываемые группами Ли, и, во-вторых, на идею о локализации (зависимости от координат) параметров групп. Поля переносчиков взаимодействий предлагаются вводить как факторы, позволяющие компенсировать нарушение соответствующих симметрий фермионных полей (частиц) при локализации групп.

6.2. Электромагнитное взаимодействие

Начнем рассмотрение калибровочного подхода с простейшего случая электромагнитного взаимодействия. Но сначала напомним основные положения электродинамики, не опирающиеся на калибровочный метод.

6.2.1. Формальное введение электромагнитного взаимодействия

Записанные выше уравнения Клейна—Фока, Шредингера или Дирака позволяют определять амплитуду вероятности обнаружения первично квантованной частицы идеализированным прибором в соответ-

ствующем месте пространства-времени, а для описания электромагнитного взаимодействия электрически заряженных полей, ранее использовалась методика, состоящая в замене частных производных от волновых функций заряженных частиц на так называемые «удлиненные производные»:

$$\frac{\partial}{\partial x^\mu} \rightarrow \partial_\mu^+ = \frac{\partial}{\partial x^\mu} + \frac{iq}{c\hbar} A_\mu, \quad (6.2.1)$$

где q — электрический заряд частицы, c — скорость света, а \hbar — постоянная Планка.

Эту процедуру можно проводить как при написании плотности функции Лагранжа взаимодействующих полей, так и непосредственно в уравнениях полей. В первом случае плотность функции Лагранжа строится по общему правилу концепции близкодействия, т. е. записывается сумма лагранжианов электромагнитного поля \mathcal{L}_A в виде (4.2.6) и лагранжиана заряженного поля, который при использовании удлиненных производных (6.2.1) распадается на две части: лагранжиан свободного заряженного поля \mathcal{L}_0 и лагранжиан взаимодействия \mathcal{L}_{int} заряженного поля с электромагнитным:

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_0 + \mathcal{L}_{int} + \mathcal{L}_A, \quad (6.2.2)$$

где лагранжиан взаимодействия для случая спинорного поля имеет вид:

$$\mathcal{L}_{int} = e A_\mu \bar{\psi} \gamma^\mu \psi. \quad (6.2.3)$$

В работах по квантовой теории поля принципиальная блок-схема концепции близкодействия (3.1.1) иллюстрируется с помощью диаграмм фейнмановского типа (см. рис. 6.2). На приведенной диаграмме пря-

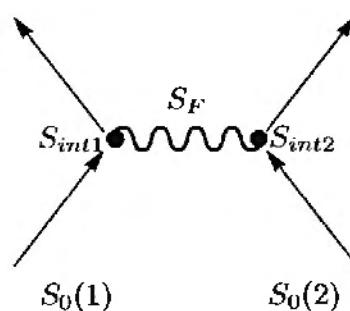


Рис. 6.2. Простейшая двухвершинная диаграмма Фейнмана

мые (фермионные) линии изображают две частицы (они описываются слагаемыми в действии S_0), волнистая линия соответствует полю переносчиков взаимодействий (определяется слагаемым S_F), а выделенные точки — вершинные части — обозначают слагаемые, которые представлены выражениями S_{int} . Изгибы сплошных фермионных линий олицетворяют факт взаимодействия, в результате которого изменяются траектории частиц.

В электродинамике в каждой вершинной части сходятся два прямых отрезка, соответствующих волновым функциям двух фермионов: ψ до взаимодействия и $\bar{\psi}$ после взаимодействия, и одна волнистая линия потенциала A_N бозонного поля — переносчика взаимодействий. Для случая других видов взаимодействий диаграммы имеют тот же принципиальный вид, однако вершинные части могут отличаться.

Из (6.2.2) вариационным методом можно получить уравнения Дирака для электромагнитно взаимодействующих частиц в виде

$$\left(-i\gamma^\mu \frac{\partial}{\partial x^\mu} + \frac{e}{c\hbar} A_\mu \gamma^\mu + \frac{mc}{\hbar} \right) \psi = 0. \quad (6.2.4)$$

К этому же уравнению можно прийти непосредственно из уравнения Дирака (5.2.11) для свободных частиц, заменив в нем частную производную на удлиненную, согласно формуле (6.2.1).

На основе решений системы уравнений для электрона в сферически симметричном электрическом поле ядра атома строится теория атомов как водородоподобных, так и более сложных. Таким образом объясняется строение наблюдаемого вещества. В связи с этим вспомним метафизический вопрос, обсуждавшийся на протяжении многих веков. Некоторые мыслители античности и нового времени считали, что атомы являются точечными, и бились над проблемой, как из точечных атомов можно составить 3-мерные классические тела конечных размеров. На этот древний вопрос позволила ответить квантовая механика, в рамках которой было показано, как из решения волновых уравнений (при учете электромагнитного взаимодействия ядра и электронов) получается объемный атом.

Подчеркнем, что охарактеризованная здесь методика описания взаимодействий опирается на феноменологическое введение электромагнитного поля.

6.2.2. Калибровочное описание электромагнетизма

В настоящее время более предпочтительным выглядит калибровочный подход к введению электромагнитного поля, претендующий на физическое обоснование наличия электромагнитного поля и самого этого вида взаимодействий.

Продемонстрируем, как калибровочная методика реализуется при описании **электромагнитных взаимодействий**. Как известно, в квантовой теории поля наблюдаемые величины — вероятность обнаружения частиц, значения импульса, момента импульса и т. д. — строятся из квадратичных комбинаций вида

$$\bar{\psi}^* D\psi, \quad (6.2.5)$$

где ψ — комплексная волновая функция, D — соответствующий оператор наблюдаемой величины. Для всех таких квадратичных комбинаций имеет место симметрия относительно преобразований волновой функции

$$\psi \rightarrow \psi' = \psi e^{iae/(\hbar c)}; \quad \overset{*}{\psi} \rightarrow \overset{*}{\psi}' = \overset{*}{\psi} e^{-iae/(\hbar c)}, \quad (6.2.6)$$

где e следует понимать как электрический заряд частицы, комбинация констант $\hbar c$ введена в соответствии с принятой традицией. Очевидно, что в квадратичных алгебраических комбинациях вида (6.2.5) экспоненты сокращаются. Поскольку можно определить результат двух таких преобразованиях, ввсти единичное и обратное преобразования, то можно утверждать, что эти преобразования образуют группу, характеризуемую одним параметром α . Эта группа является циклической группой или группой $U(1)$. Инвариантность (6.2.5) при преобразованиях (6.2.6) с постоянными α означает наличие *глобальной* $U(1)$ -симметрии.

Появление взаимодействия в данном подходе ассоциируется с нарушением глобальной групповой симметрии. Применяется прием, называемый *локализацией группы*, состоящий в том, что параметр α полагается зависящим от координат 4-мерного пространства-времени. Это оказывается принципиально важным, если оператор D в (6.2.5) содержит в себе дифференцирование по координатам.

Поясним это на примере оператора импульса, когда $D \sim \partial/\partial x^\mu$. Тогда при преобразованиях (6.2.6) имеем

$$\overset{*}{\psi} \frac{\partial \psi}{\partial x^\mu} \rightarrow \overset{*}{\psi}' \frac{\partial \psi'}{\partial x^\mu} = \overset{*}{\psi} \frac{\partial \psi}{\partial x^\mu} + \frac{ie}{\hbar c} \frac{\partial \alpha}{\partial x^\mu} \overset{*}{\psi} \psi, \quad (6.2.7)$$

где дополнительное слагаемое возникло из дифференцирования экспоненты. Оно нарушает инвариантность (6.2.7) относительно преобразования (6.2.6).

Для восстановления инвариантности предлагается, во-первых, изменить оператор дифференцирования, согласно (6.2.1) и, во-вторых, постулировать, что при преобразованиях (6.2.6) введенное здесь векторное поле A_μ изменяется по закону

$$A_\mu \rightarrow A'_\mu = A_\mu + \frac{\partial \alpha}{\partial x^\mu}. \quad (6.2.8)$$

Очевидно, что комбинация (6.2.5) с оператором D вида (6.2.1) остается инвариантной относительно преобразований (6.2.6). В этой комбинации «лишнее» слагаемое в (6.2.7) компенсируется дополнительным членом в (6.2.1). На этом основании в 60-х гг., когда данный подход входил в моду, Д. Д. Иваненко предлагал его назвать «компенсирующим».

Именно так сейчас принято вводить электромагнитное взаимодействие в калибровочной формулировке электродинамики. В стандартной

электродинамике выражение (6.2.8) является давно известным калибровочным преобразованием векторного потенциала. Очевидно, что при таких преобразованиях не изменяются компоненты тензора электромагнитного поля (3.3.4), а сохраняющейся величиной, соответствующей $U(1)$ -симметрии, является электрический заряд системы.

Лагранжиан электромагнитного поля в данном подходе опять-таки добавляется, однако уже на законных основаниях, поскольку калибровочный подход обосновал необходимость введения электромагнитного поля A_μ . Очевидно также, что весь ход проведенных рассуждений самым существенным образом опирается на априорно заданное 4-мерное пространственно-временное многообразие.

Описанный здесь калибровочный подход к описанию электромагнитных взаимодействий заставляет еще раз вспомнить слова Р. Фейнмана о том, что «самые фундаментальные законы физики после того, как они уже открыты, все-таки допускают такое невероятное многообразие формулировок, по первому впечатлению неэквивалентных, и все же таких, что после определенных манипуляций между ними всегда удается найти взаимосвязь». В следующих главах будут приведены и другие способы введения электромагнитного взаимодействия.

6.3. Калибровочная теория электрослабых взаимодействий

В середине 50-х гг. Янг и Миллс предложили распространить калибровочный подход на другие группы. Выяснилось, что он имеет универсальный характер и применим практически к любой из известных групп Ли. Каждой из них соответствует закон сохранения некоторого заряда и присущая ей совокупность возможных полей переносчиков взаимодействий. Сейчас принято называть такие поля *полями Янга–Миллса*. Но это, конечно, не означает, что все они реализуются в физике элементарных частиц. Кроме рассмотренной группы $U(1)$, в физике микромира оказались нужными группы $SU(2)$ и $SU(3)$: первая для описания электрослабых взаимодействий, а вторая — для построения хромодинамики.

6.3.1. Бозонные поля в модели электрослабых взаимодействий

Кратко поясним ключевые положения модели электрослабых взаимодействий, основанной на локализации группы $SU(2) \times U(1)$. Как известно, группа $SU(2)$ определена в комплексном пространстве 2-компонентных спиноров и соответствует группе 3-мерных вращений. Поскольку можно осуществлять повороты вокруг трех взаимно перпен-

дикулярных осей, то говорят, что эта группа характеризуется тремя независимыми параметрами, т. е. является 3-параметрической, в отличие от одного параметра группы $U(1)$. Использование этой группы симметрий означает введение внутреннего (изотопического) 2-мерного комплексного пространства, в котором элементарные частицы характеризуются двумя спинорными компонентами, которые не следует путать со спинорными компонентами внешнего, т. е. классического 4-мерного пространства-времени.

Согласно изложенному выше, использование $SU(2) \times U(1)$ -симметрии означает введение в теорию четырех — по числу параметров этих групп — векторных полей: три векторных поля $A(1)_\mu, A(2)_\mu, A(3)_\mu$ соответствуют 3-параметрической группе $SU(2)$ и одно векторное поле B_μ — 1-параметрической группе $U(1)$. Подчеркнем, что совокупность двух групп и полей в этой теории не означает прямого соответствия $U(1)$ электромагнитному полю, а $SU(2)$ — переносчикам слабых взаимодействий, как могло бы показаться на первый взгляд. Фотоны и другие векторные поля определяются через названные первичные поля более сложным образом: через некоторые комбинации из них.

Взаимодействие частиц с векторным полем B_μ характеризуется своей константой взаимодействия g_1 и специальным зарядом Y , называемым *гиперзарядом*, который может принимать целочисленные значения: $0, \pm 1, \pm 2, \dots$ аналогично электрическому заряду Q в единицах заряда электрона e .

Взаимодействие с триплетом векторных полей $A(k)_\mu$, где $k = 1, 2, 3$, характеризуется другой константой взаимодействия g_2 и своими значениями заряда, роль которых выполняет проекция спина T_3 во внутреннем изотопическом пространстве; T_3 может принимать как целые, так и полуцелые значения: $0, \pm 1/2, \pm 1, \dots$ В зависимости от значения T , говорят, что частицы являются изоскаляром ($T = 0$), изоспинором ($T = 1/2$), вектором ($T = 1$) в изотопическом пространстве.

Плотность лагранжиана модели Вайнберга—Салама—Глэшоу представляется в виде не трех, как в (6.2.2), а четырех составных частей:

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_0 + \mathcal{L}_F + \mathcal{L}_{int} + \mathcal{L}_m, \quad (6.3.1)$$

где первые три слагаемых имеют прежний смысл, а \mathcal{L}_m — часть плотности лагранжиана, описывающая вклады в массы частиц (массовый сектор). Дело в том, что в $SU(2) \times U(1)$ -симметричной теории как частицы, так и поля переносчиков взаимодействий оказываются безмассовыми. Для того чтобы возникли отличные от нуля массы покоя, используется специальный математический прием, предложенный Хиггсом в 1964 г. Он основан на введении дублета хиггсовских скалярных полей, взаимодействующих с векторными и спинорными полями, причем так, чтобы

сохранялась $SU(2) \times U(1)$ -симметрия. Затем на скалярное поле налагаются специальные условия таким образом, чтобы более выгодным было некое ненулевое значение (вакуумное среднее) скалярного поля, что соответствует нарушению изначальной $SU(2) \times U(1)$ -симметрии. Ненулевое значение скалярного поля ответственно за возникновение масс покоя элементарных частиц. Такое явление названо спонтанным нарушением симметрии, а сам прием введения масс — *механизмом Хиггса*. Таким образом, в \mathcal{L}_m входит плотность лагранжиана хиггсовских скалярных полей и члены, описывающие их взаимодействие с другими полями.

Все эти составные части тесно связаны друг с другом. Не углубляясь в детали этой теории, вышишем лишь наиболее характерные ее следствия. Так, взаимодействие лептонов с векторными калибровочными полями определяется следующей «удлиненной производной»:

$$\frac{\partial}{\partial x^\mu} \rightarrow \partial_\mu^{++} = I_2 \frac{\partial}{\partial x^\mu} - \frac{ig_1}{\hbar c} \frac{Y}{2} I_2 B_\mu - \frac{ig_2}{\hbar c} T(k) A(k)_\mu, \quad (6.3.2)$$

обобщющей электромагнитную «удлиненную производную» (6.2.1). Здесь Y — гиперзаряд, $T(s)$ — матричная величина, выражаемая через 2×2 -матрицы Паули, I_2 — единичные 2×2 -матрицы. Введение матриц обусловлено тем, что записанный оператор действует на 2-компонентную спинорную функцию в изотопическом пространстве.

Физическим полям — электромагнитному и другим — соответствуют комбинации из первичных векторных полей, которые определяются, в частности, тем, какие из них взаимодействуют со скалярными полями и, следовательно, приобретают в результате массы покоя, а какие — нет. Оказывается, линейная комбинация

$$A_\mu = B_\mu \cos \theta_W + A(3)_\mu \sin \theta_W \quad (6.3.3)$$

не взаимодействует со скалярными полями и остается безмассовой. Она отождествляется с векторным потенциалом электромагнитного поля. Здесь θ_W — так называемый *угол Вайнберга*, определяемый константами взаимодействий g_1 и g_2 :

$$\sin \theta_W = \frac{g_1}{\sqrt{g_1^2 + g_2^2}} \equiv \frac{g_1}{g}. \quad (6.3.4)$$

Следует особо подчеркнуть, что значения констант, а следовательно, и угол Вайнберга θ_W в модели Вайнберга—Салама Глэшоу не фиксируются. Угол Вайнберга находится из экспериментальных данных $\theta_W \sim 28,4^\circ$.

Вторая комбинация из двух первичных полей, ортогональная первой в (6.3.3),

$$Z_\mu = -B_\mu \sin \theta_W + A(3)_\mu \cos \theta_W \quad (6.3.5)$$

определяет поле нейтрального векторного Z-бозона, обладающего массой покоя.

Поскольку промежуточные векторные поля A_μ и Z_μ являются составными, то и константы их взаимодействий с частицами определяются через комбинации первичных констант g_1 и g_2 . Так, величина электрического заряда e и константа g взаимодействия с Z-бозоном соответственно записываются в виде

$$e = \frac{g_1 g_2}{\sqrt{g_1^2 + g_2^2}}; \quad g = \sqrt{g_1^2 + g_2^2}. \quad (6.3.6)$$

Из оставшихся двух первичных векторных полей $A(1)_\mu$ и $A(2)_\mu$ строятся поля двух заряженных векторных бозонов (положительного и отрицательного зарядов):

$$W_\mu^\pm = \frac{1}{\sqrt{2}} [A(1)_\mu \mp i A(2)_\mu], \quad (6.3.7)$$

также обладающих массами покоя.

В рамках этой теории были предсказаны значения масс Z- и W^\pm -бозонов. Оказалось, что отношение масс Z- и W-бозонов определяется косинусом угла Вайнберга, что затем было подтверждено экспериментально.

Все таким образом понимаемые векторные бозонные поля являются переносчиками взаимодействий между парой фермионных частиц. Создание данной модели во второй половине XX в. ознаменовало важное открытие, сравнимое с открытием XIX в., состоявшим в объединении электрического и магнитного полей в рамках единого электромагнитного поля. Теперь уже можно утверждать, что нет отдельно электромагнитного взаимодействия и отдельно слабого, а есть единое электрослабое взаимодействие.

6.3.2. Электрослабые взаимодействия лептонов

В ставшей уже классической модели электрослабых взаимодействий Вайнберга—Салама—Глэшоу (см. [17, 189]) обычно подразумевается пара частиц первого поколения: электрон (e) и электронное нейтрино (ν_e). Лагранжиан их взаимодействия с полями промежуточных векторных бозонов находится по ранее сформулированному правилу: в плотности лагранжиана для свободных частиц следует заменить частные производные на удлиненные, однако теперь таковыми являются (6.3.2). В них входят значения гиперзаряда Y и изотопический спин частиц $T(s)$, через которые определяются электрический заряд частиц Q (в единицах e) и заряд взаимодействия с нейтральным Z-бозоном g_z :

$$Q = \frac{1}{2} Y + T_3; \quad g_z = T_3 - Q \sin^2 \theta_W. \quad (6.3.8)$$

Чрезвычайно важным обстоятельством в теории электрослабых взаимодействий является тот факт, что, во-первых, все элементарные частицы, описываемые 4-компонентными (биспинорными) волновыми функциями, обладают двумя компонентами: левой, помечаемой индексом L , и правой, помечаемой индексом R . Если обозначить волновую функцию электрона символом $\psi_e \equiv e$, а для нейтрино $\psi_\nu \equiv \nu$, то их следует представить в виде суммы из левой и правой частей:

$$e = e_L + e_R; \quad \nu = \nu_L + \nu_R. \quad (6.3.9)$$

Во-вторых, левые и правые компоненты частиц по-разному взаимодействуют с промежуточными векторными полями, что отражается их различными значениями гиперзаряда и проекции изотопического спина. Левые компоненты электрона (e_L) и нейтрино (ν_L) объявляются двумя проекциями одного и того же спинора в изотопическом пространстве, т. е. для них соответственно имеем $T_3 = -1/2$ и $T_3 = +1/2$. В модели Вайнберга—Салама—Глэшоу эти две левые компоненты описываются в виде двухкомпонентного столбца. Правые же компоненты считаются изоскалярами, т. е. для них $T_3 = 0$, и они описываются однокомпонентными величинами. Указанное различие соответствует известному свойству слабых взаимодействий — нарушению зеркальной симметрии, т. е. неэквивалентности лево- и право-поляризованных частиц.

Проекции изотопического спина T_3 , характеризующего взаимодействия с триплетом векторных полей $A(s)_\mu$, и значения гиперзаряда Y , характеризующего взаимодействия частиц с промежуточным векторным полем B_μ , для всех компонент частиц выписаны в табл. (6.3.10). Там же указаны электрический Q и g_z -заряды частиц.

Квантовое число	ν_{eL}	e_L	ν_{eR}	e_R	
Y	-1	-1	0	-2	(6.3.10)
T_3	1/2	-1/2	0	0	
$Q = (1/2)Y + T_3$	0	-1	0	-1	
$g_z = T_3 - Q\sin^2\theta_W$	1/2	$-1/2 + \sin^2\theta_W$	0	$\sin^2\theta_W$	

В таблице формально выписаны заряды и для правых компонент нейтрино. Поскольку все его заряды равны нулю, то он не участвует во взаимодействиях. По этой и некоторым другим причинам принято считать, что существуют лишь левые компоненты нейтрино.

На вполне естественные вопросы о причинах подобного выбора зарядов, введения левых и правых компонент частиц и т. п., в рамках теоретико-полевого миронимания пока дается ответ: эти значения имеют феноменологический характер, т. е. следуют из совокупности

экспериментальных данных. В следующих двух частях книги этот материал будет проанализирован под иными углами зрения.

Согласно экспериментальным данным, в электрослабых взаимодействиях проявляются шесть видов лептонов (т. е. имеются лептоны шести *ароматов*), образующих *три поколения* — по две частицы в каждом:

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e^- \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu^- \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau^- \end{pmatrix}.$$

Все лептоны обладают спином 1/2. Верхние лептоны электрически нейтральны и безмассовы, а нижние лептоны обладают единичным отрицательным электрическим зарядом и существенно отличаются массами покоя. Как уже отмечалось, в настоящее время в рамках этой парадигмы нет общепризнанного теоретического обоснования существования именно трех поколений. Обычно отмечается неясность ролей этих поколений в общей структуре мира.

Взаимодействие лептонов разных поколений с промежуточным *нейтральным векторным Z-бозоном* осуществляется через нейтральные токи. Согласно современным данным, имеется 6 лептонных нейтральных токов, образованных одинаковыми входящими и выходящими частицами (типа $\bar{\nu}_e \gamma_\alpha \nu_e$, $\bar{e} \gamma_\alpha e$ и т. д.). Характерно, что в теории не должны возникать нейтральные токи, в которых перемешиваются частицы из разных поколений (т. е. типа $\bar{e} \gamma_\alpha \mu$, $\bar{\nu}_e \gamma_\alpha \nu_\mu$ и т. д.). Этот факт следует называть правилом запрета для нейтральных токов.

Заряды g_L и g_R , характеризующие взаимодействия лептонов второго и третьего поколений с Z-бозонами, имеют те же самые значения, что и указанные в табл. (6.3.10) заряды соответствующих лептонов первого поколения.

Взаимодействие лептонов разных поколений с промежуточными *заряженными векторными W-бозонами* описывается через заряженные токи, причем заряженные токи образуются только левыми компонентами частиц. Согласно экспериментальным данным, для лептонов имеется лишь три заряженных тока, в которые входят компоненты пар лептонов только из одного поколения. Отсутствие токов, содержащих компоненты частиц из разных поколений, означает правило запрета для заряженных лептонных токов.

Для масс фермионов предсказания теории оказались менее определенными. Из теории следовала лишь сама возможность их введения через механизм Хиггса, однако конкретные значения задаются с помощью дополнительных констант, которые теорией не фиксируются, а находятся из эксперимента.

6.3.3. Электрослабые взаимодействия夸克ов

Электрослабые взаимодействия夸克ов описываются теми же формулами, что и лептоны. Отличия состоят в значениях Y и результирующих зарядов夸克ов. Вместо нейтрино и электрона теперь выступают *верхний* и *нижний*夸克, которые для первого поколения именуются соответственно u -夸克ом и d -夸克ом.

Значения Y , T_3 и зарядов夸克ов первого поколения во внутреннем пространстве выписаны в табл. (6.3.11):

Квантовое число	u_L	d_L	u_R	d_R
Y	1/3	1/3	4/3	-2/3
T_3	1/2	-1/2	0	0
Q	+2/3	-1/3	+2/3	-1/3
g_z	$+1/2 - (2/3) \sin^2 \theta_W$	$-1/2 + (1/3) \sin^2 \theta_W$	$-(2/3) \sin^2 \theta_W$	$+(1/3) \sin^2 \theta_W$

(6.3.11)

Обратим внимание на то, что верхний夸克 обладает дробным электрическим зарядом $Q = +2/3$, а нижний -- также дробным электрическим зарядом $Q = -1/3$. Легко видеть, что заряды верхних и нижних夸克ов отличаются друг от друга на единицу, что характерно также и для лептонов.

Аналогично лептонам в электрослабых взаимодействиях следует говорить о夸克ах шести ароматов, которые также составляют *три поколения*:

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}.$$

Все夸克 обладают спином 1/2 в пространстве-времени Минковского и одинаковыми во всех поколениях комплектами квантовых чисел (зарядов) во внутреннем пространстве.

Взаимодействие夸克ов разных поколений с промежуточным *нейтральным векторным Z-бозоном* осуществляется через нейтральные токи. Согласно современным данным, имеется 6夸ковых нейтральных токов (типа $\bar{u}\gamma_\alpha u$, $\bar{d}\gamma_\alpha d$, ...). Как и в случае лептонов, в теории не должны возникать нейтральные токи, в которых перемешиваются夸克 из разных поколений (т. е. типа $\bar{u}\gamma_\alpha c$ и т. д.). Этот факт следует назвать правилом запрета для нейтральных токов.

В отличие от лептонов, для夸克ов имеется 9 заряженных токов, так что каждый夸克 может образовывать заряженный ток с партнером как из своего, так и из других поколений. Имеет место перемешивание

кварков в заряженных токах, которое описывается с помощью трех углов Эйлера $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ и фазового множителя $e^{i\delta}$. Из экспериментальных данных известно, что все углы θ_i малы. Наиболее существенный угол θ_1 , называемый углом *Каббibo*, описывает перемешивание кварков из первого и второго поколений.

Множество различных видов адронов — протон, нейтрон, гипероны, мезоны — имеет смысл именно при электрослабых взаимодействиях. Согласно современным воззрениям, барионы состоят из троек кварков и различаются образующими их кварками. Так, протон (p) состоит из двух u -кварков и одного d -кварка ($p=udd$), нейтрон (n) — из двух d -кварков и одного u -кварка ($n=ddu$), т. е. в состав обеих частиц, образующих ядра наблюдаемой материи, входят кварки лишь первого поколения. Легко убедиться, что электрические заряды протона и нейтрона находятся из прямой суммы образующих их кварков.

Ряд нестабильных гиперонов возникает по тому же принципу, однако с участием кварков второго и третьего поколений. Так, триплет Σ -гиперонов строится из комбинаций: $\Sigma^- = dds$, $\Sigma^+ = uus$, $\Sigma^0 = \{uds\} s$. Здесь в последнем выражении фигурные скобки означают симметричную комбинацию двух кварков первого поколения. Дублет Ξ -гиперонов строится с участием двух кварков второго поколения: $\Xi^- = ssd$, $\Xi^0 = ssu$. Аналогичным образом можно определить другие гипероны и так называемые резонансы. Для различения кварков разных поколений введено новое квантовое число *страннысть*. Предполагают, что названные барионы содержат странные кварки. (Эти и другие вопросы физики элементарных частиц более подробно изложены в [118, 119, 189].)

Упомянем, что к адронам кроме барионов, состоящих из трех кварков, относятся и мезоны, также строящиеся по правилам детского конструктора из кварка и антакварка различных поколений.

Подчеркнем, что изложенная информация об электрослабых взаимодействиях кварков и лептонов имеет феноменологический характер и вызывает множество вопросов. Так, в частности, в книге К. Готтфрида и В. Вайскопфа выделены следующие вопросы:

«Кварки и лептоны — бесструктурные частицы со спином $1/2$, имеющие одинаковое электрослабое взаимодействие и одинаковым образом появляющиеся во всех поколениях. Можно ли считать, что лептоны и кварки как-то связаны друг с другом? (...)

Почему фермионы возникают в различных поколениях, которые, по-видимому, являются тождественными копиями друг друга?» [47, с. 205].

Решение этих проблем следует ожидать на основе суммарной информации, полученной в рамках всех трех миропониманий.

6.3.4. Асимметрия левого и правого

В рамках калибровочной модели электрослабых взаимодействий Вайнберга–Салама–Глэшоу вскрыта чрезвычайно важная закономерность физической реальности: асимметрия левого и правого, т. е. нарушение зеркальной симметрии. Это свойство реального мира имеет место (с некоторыми видоизменениями) в явлениях разных масштабов. Любопытно проследить цепочку проявлений зеркальной асимметрии от свойств отдельной элементарной частицы (например, электрона) до явлений астрофизических масштабов.

1. Как выше было показано, левая и правая компоненты, составляющие электрон, ведут себя по-разному в слабых взаимодействиях: левая компонента электрона e_L , являясь компонентой изотопического спинора, взаимодействует с заряженными W_μ^\pm -бозонами, тогда как правая компонента электрона e_R не взаимодействует с W -бозонами, поскольку является изотопическим скаляром. Кроме того, эти две компоненты электрона имеют разные заряды, характеризующие взаимодействия с нейтральными Z_μ -бозонами. Подобное обстоятельство имеет место и в слабых взаимодействиях夸克ов — представителей барионов в фундаментальных взаимодействиях.

На возможность зеркальной асимметрии в слабых взаимодействиях было указано в работе Ц. Ли и Ч. Янга в 1956 г. Вскоре ее проявление было доказано экспериментально группой физиков под руководством Ц. Ву. Они наблюдали процесс распада ядра кобальта-60, при котором его нейtron превращался в протон с испусканием электрона и антинейтрино. В итоге возникало ядро никеля-60. Распад осуществлялся в магнитном поле, что позволяло определить вид компоненты вылетающего электрона. Эксперимент показал, что направление вылета электронов составляет левый винт с направлением его тока. Зеркально симметричный случай не наблюдался. Это явление было названо несохранением четности в слабых взаимодействиях.

Это открытие произвело сильное впечатление на физиков, которые до того времени полагали, что в физике микромира выполняется зеркальная симметрия. Пришлося пересмотреть ряд аспектов пространственно-временных представлений в микромире. Вскоре Р. Фейнманом и рядом других авторов была разработана первая теоретическая модель, объясняющая явления такого рода. Объяснение состояло в том, что взаимодействие частиц характеризуется комбинацией их векторных (V) и псевдовекторных (A) токов $(V - A)(V - A)$. При этом $(V - A)$ -ток связан с заряженным W -бозоном, ответственным за различие в слабых взаимодействиях левой и правой компонент электрона.

В дальнейшем был открыт закон сохранения СРТ-симметрии в слабых взаимодействиях, означающий, что сохраняется комбинация из трех

симметрий, тогда как каждая из них: зарядовая симметрия С, симметрия зеркального отражения Р и отражения времени Т в отдельности не сохраняются.

2. На молекулярном уровне наличие двух зеркально противоположных видов веществ было обнаружено еще в XIX в. Луи Пастером (1822–1895). Это открытие положило начало развитию новой ветви химии – стереохимии. Явление зеркальных двойников среди молекул химии назвали термином «хиральность», происходящим от греческого слова «рука». Два вида молекул можно уподобить различию кистей левой и правой рук. Заметим, что физики наличие левых и правых компонент частиц именуют термином «киральность».

Можно привести множество примеров зеркальных изомеров. Например, всем известная глюкоза $C_6H_{12}O_6$ представляет собой смесь из двух фракций D-глюкозы и L-глюкозы, зеркально отличающихся друг от друга. D- и L-виды молекул имеются и у других веществ. Они различаются некоторыми физическими свойствами. Так, Пастер изучал два вида кристаллов винной кислоты и показал, что раствор одних кристаллов вращал поляризованный свет влево, а других кристаллов – вправо. Интересно, что в естественном виде обе компоненты молекул присутствуют равноправно, однако есть способы их разделения. Пастером было обнаружено, что микроорганизмы плесени разлагают правую фракцию молекул винной кислоты, не трогая левую, так что в целом оптически нейтральный исходный раствор винной кислоты по мере деятельности микроорганизмов приобретает ярко выраженные свойства поляризовать проходящий свет.

3. В основе всего живого лежит асимметрия левого и правого. При построении живых клеток используются L-фракции органических веществ. Так, упомянутая выше глюкоза, присутствующая в крови и во всех тканях человека, содержит лишь одну левую фракцию. То же самое можно сказать про аминокислоты, сахара, нуклеиновые кислоты – все они встречаются в организме в виде одной фракции.

Органические вещества, которые можно синтезировать искусственным путем, как правило, содержат примерно поровну левые и правые фракции. Для питания же необходима лишь одна из них. Вторая, непригодная для построения клеток фракция в лучшем случае не будет узнаваться организмом, а может и вызвать существенно негативные последствия для организма. Вот почему надежды на получение продуктов питания искусственным путем оказались тщетными. Для питания необходимо использовать лишь продукты, прошедшие через живые организмы, т. е. растительного или животного происхождения. Отметим также, что в умершем организме довольно быстро происходит процесс самопроизвольной рацемизации, т. е. выделенная фракция химических веществ превращается в смесь обеих фракций.

4. Асимметрия левого и правого у живых организмов проявляется и на макроуровне. Напомним, что у людей сердце расположено слева, а печень справа. Мозг человека состоит из двух полушарий, при этом у подавляющей части людей левое полушарие ответственно за логическую деятельность, тогда как правое полушарие — за эмоциональную сферу.

Отметим также чрезвычайно любопытное обстоятельство: все ракушки (как морские, так и улитки) имеют панцирь, закрученный в одну и ту же сторону.

5. Известно, что Земля имеет грушевидную форму: со стороны Северного полюса имеется сплюснутость, соответствующая Северному Ледовитому океану, а со стороны Южного полюса — наоборот — вытянутость в виде материка — Антарктиды. На это обстоятельство обращал внимание ряд исследователей. В частности, астроном Козырев связывал этот факт с направлением вращения Земли. Очевидно, если смотреть на Землю со стороны Северного полюса, то ее вращение происходит против часовой стрелки, а если со стороны Южного полюса, то Земля вращается по часовой стрелке. Это свидетельствует о проявлении асимметрии левого и правого в планетарном масштабе.

6. Как Солнце, так и все планеты Солнечной системы вращаются в одном направлении, причем это имеет место как для их собственного, так и орбитального вращения, что можно рассматривать как проявление асимметрии в масштабе Солнечной системы.

7. В ряде публикаций астрофизиков можно найти данные в пользу гипотезы о вращении всей Вселенной, причем это вращение не является твердотельным, что не противоречит принципам теории относительности. Насколько приводимые данные действительно отражают реальность еще предстоит выяснить.

Приведенные и ряд других факторов асимметрии левого и правого свидетельствуют о глобальном, можно даже сказать — метафизическом, характере вскрытых в теории электрослабых взаимодействий закономерностей, пронизывающих все масштабы физического мироздания.

6.4. Калибровочная теория сильных взаимодействий

Теория сильных взаимодействий конца XX в., именуемая *хромодинамикой*, также строится в рамках калибровочного подхода, однако при этом используется группа внутренних симметрий $SU(3)$ (см. [118, 119, 189]). Использование этой группы означает введение иного внутреннего изотопического пространства, которое теперь является 3-мерным комплексным пространством своеобразных финслеровых спиноров.

6.4.1. Глюонные поля в хромодинамике

Поскольку группа $SU(3)$ является 8-параметрической, то при локализации этой группы возникают 8 векторных полей V_μ^a , которые именуются *глюонами*; здесь индекс a принимает значения: 1, 2, ..., 8. Согласно данной калибровочной модели, сильные взаимодействия переносятся глюонами.

В этой теории полагается, что сильно взаимодействующие частицы (барионы) состоят из трех夸克ов. Наименование теории — «хромодинамика» — обусловлено тремя квантовыми состояниям夸克ов, названными цветовыми терминами. Говорят, что夸克 обладают *тремя цветами* (цветовыми зарядами), т. е. образуют цветовой триплет

$$q_{(j)} = \begin{pmatrix} q_{(1)} \\ q_{(2)} \\ q_{(3)} \end{pmatrix} \equiv \begin{pmatrix} q_R \\ q_Y \\ q_G \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} \text{красный} \\ \text{желтый} \\ \text{зеленый} \end{pmatrix}. \quad (6.4.1)$$

Заметим, что эти цветовые заряды не имеют ничего общего с цветами наблюдаемого нами мира, кроме того что все воспринимаемые глазом цвета можно образовать из различных комбинаций трех названных цветов. Данная терминология выбрана из желания физиков как-то оживить, т. е. «раскрасить» хотя бы используемые понятия сухой абстрактной теоретической конструкции.

Лагранжиан хромодинамики в каноническом виде записывается таким же образом, что и для электромагнитных и электрослабых взаимодействий, с той разницей, что в нем присутствуют другие поля и иной вид «удлиненной производной»:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x^\mu} \rightarrow \partial_\mu^{+++} &= I_3 \partial_\mu + i \frac{g_o}{2\hbar c} \lambda_a V_\mu^a = \\ &= I_3 \frac{\partial}{\partial x^\mu} + I_3 \frac{ig_o}{\hbar c} Q_a A_\mu + I_3 \frac{ig_o}{\hbar c} Q_b B_\mu + \frac{ig_o}{2\hbar c} \lambda_n V_\mu^n, \end{aligned} \quad (6.4.2)$$

где g_o — калибровочная константа связи по группе $SU(3)$ (заряд сильных взаимодействий). Это выражение записано через 3×3 -матрицы, так что на самом деле здесь три выражения по числу цветовых зарядов夸克ов; в частности, I_3 — единичная 3×3 -матрица, λ_a — восемь 3×3 -матриц Гелл-Манна, заменяющих 2×2 -матрицы Паули в модели электрослабых взаимодействий.

Две матрицы Гелл-Манна — с индексами 3 и 8 — имеют диагональный вид. Для соответствующих им двух калибровочных полей, называемых нейтральными (в смысле цветовых зарядов), введены специальные обозначения:

$$V_\mu^3 \equiv A_\mu; \quad V_\mu^8 \equiv B_\mu. \quad (6.4.3)$$

Роль этих двух компонент — нейтральных глюонов — аналогична роли двух электрически нейтральных промежуточных векторных бозонов

$A(3)_\mu$ и B_μ (или комбинаций из них: фотонов и Z-бозонов) в калибровочной модели электрослабых взаимодействий Вайнберга—Салама—Глэшоу.

Для оставшихся 6 векторных глюонных полей, называемых заряженными (в цветовом смысле), вводятся следующие парные комбинации:

$$\begin{aligned} X_\mu^+ &= \frac{1}{\sqrt{2}} (V_\mu^1 + iV_\mu^2); & X_\mu^- &= \frac{1}{\sqrt{2}} (V_\mu^1 - iV_\mu^2); \\ Y_\mu^+ &= \frac{1}{\sqrt{2}} (V_\mu^4 + iV_\mu^5); & Y_\mu^- &= \frac{1}{\sqrt{2}} (V_\mu^4 - iV_\mu^5); \\ Z_\mu^+ &= \frac{1}{\sqrt{2}} (V_\mu^6 + iV_\mu^7); & Z_\mu^- &= \frac{1}{\sqrt{2}} (V_\mu^6 - iV_\mu^7), \end{aligned} \quad (6.4.4)$$

аналогичные выражению (6.3.7) для заряженных (уже в электромагнитном смысле) W_μ^\pm -бозонов в модели электрослабых взаимодействий.

Таким образом определенные нейтральные и заряженные глюонные поля имеют простую физическую интерпретацию: нейтральные глюоны не изменяют, а заряженные изменяют цветовые заряды соответствующих夸克ов, т. е. генерируют переходы夸克ов между состояниями, поясненными на вершинных диаграммах рис. 6.3.

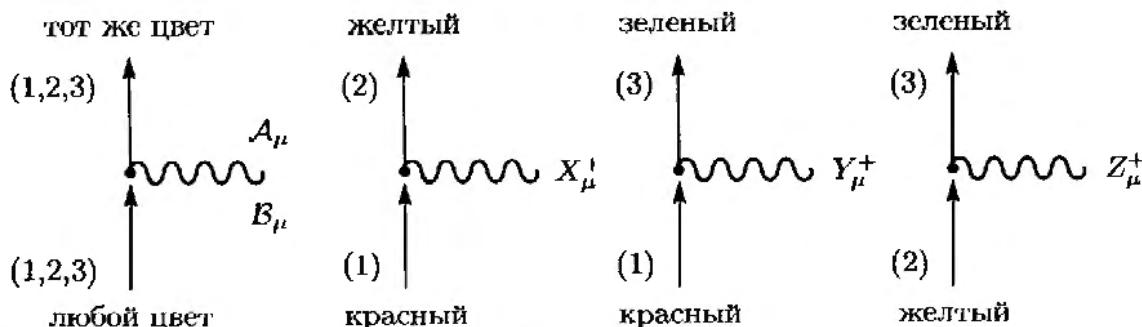


Рис. 6.3. Кварк-глюонные взаимодействия

6.4.2. Кварки в сильных взаимодействиях

Представителями адронов в сильных взаимодействиях являются кварки. Для них лагранжиан (хромодинамики) в каноническом виде записывается таким же образом, что и для электромагнитных и электрослабых взаимодействий, т. е. имеют вид:

$$\mathcal{L}_F = i\hbar c \bar{q} \gamma^\mu \partial_\mu^* q + (\text{эрмитово сопряженное выражение}) \quad (6.4.5)$$

с той разницей, что в нем присутствуют другие поля и иной вид удлиненной производной (6.4.2).

Следует обратить внимание на тот факт, что в (6.4.5) величина q представляет собой столбец из 3×4 компонент, где 3 определяется

числом цветовых зарядов в хромодинамике, а 4 — количеством компонент биспинора во внешнем пространстве-времени Минковского. Тройка цветовых зарядов обуславливает матричный 3×3 вид удлиненной производной хромодинамики (6.4.2), где присутствует единичная 3×3 -матрица I_3 , а выражения λ_a — 3×3 -матрицы Гелл-Манна, заменяющие в хромодинамике ранее записанные матрицы Паули.

В наиболее часто используемом представлении матрицы Гелл-Манна имеют вид

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; & \lambda_2 &= \begin{pmatrix} 0 & -i & 0 \\ i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \\ \lambda_3 &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; & \lambda_4 &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \\ \lambda_5 &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & -i \\ 0 & 0 & 0 \\ i & 0 & 0 \end{pmatrix}; & \lambda_6 &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}; \\ \lambda_7 &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -i \\ 0 & i & 0 \end{pmatrix}; & \lambda_8 &= \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -2 \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (6.4.6)$$

Эти матрицы играют ключевую роль в хромодинамике, фактически определяя математику троичности.

С матрицами λ_3 и λ_8 диагонального вида сопоставляются два специальных цветовых заряда夸克ов: Q_b — гиперцветовой заряд и Q_a — цветовой изотопический заряд, соответствующие гиперзаряду Y и проекции изотопического T_3 в модели электрослабых взаимодействий Вайнберга Салама Глэшоу. Значения специальных зарядов (в единицах g_o) для трех цветов夸克ов приведены в табл. (6.4.7):

Квантовое число	$q_{(1)} \equiv q_R$	$q_{(2)} \equiv q_Y$	$q_{(3)} \equiv q_G$
Q_b	$1/(2\sqrt{3})$	$1/(2\sqrt{3})$	$-1/\sqrt{3}$
Q_a	$1/2$	$-1/2$	0

(6.4.7)

Поскольку в калибровочной модели сильных взаимодействий夸克 описываются 3-компонентными столбцами во внутреннем цветовом (хроматическом) пространстве аналогично 2-компонентным столбцам (спинорам) в модели электрослабых взаимодействий, в работах ряда физиков 3-компонентные величины были названы *3-компонентными спинорами* — необычным термином, если иметь в виду алгебры Клиффорда над полем вещественных чисел.

В связи с этим отметим, что имеется другой канал обобщения теории 2-компонентных спиноров, в котором возможны спиноры с произвольным числом компонент. В наших работах эти спиноры были названы финслеровыми [154]. Этот вопрос более подробно затронут в пятой части книги при изложении бинарной геометрофизики.

6.5. Калибровочный подход к описанию гравитации

В связи со стремлением объединить все известные виды взаимодействий, включая гравитационное, предпринимались усилия (в качестве предварительного шага) поставить теорию гравитации на ту же принципиальную основу, что и другие взаимодействия, т. е. также представить в калибровочном виде. Работы по развитию *калибровочной теории гравитации* были начаты уже в 60-х гг.. Для этой цели были использованы не внутренние симметрии, как в предыдущих случаях, а группа симметрий классического 4-мерного пространства-времени Минковского. Как уже отмечалось, плоское пространство-время однородно, что означает наличие в нем 4-параметрической группы трансляций (сдвигов)

$$x'^\mu = x^\mu + \lambda^\mu, \quad (6.5.1)$$

где λ^μ — четверка параметров этой группы. Кроме того в пространстве-времени Минковского имеет место 6-параметрическая группа Лоренца

$$x'^\mu = C_\nu^\mu x^\nu, \quad (6.5.2)$$

где C_ν^μ — антисимметричная 4×4 -матрица из 6 независимых параметров группы. Напомним, эта группа распадается на 3-параметрическую подгруппу поворотов в 3-мерном пространстве и 3-параметрическую подгруппу преобразований системы отсчета. Совокупность двух групп (6.5.1) и (6.5.2) образует 10-параметрическую группу Пуанкаре.

При построении калибровочной теории гравитации некоторые авторы ограничивались 6-параметрической группой Лоренца, другие выбирали более широкую 10-параметрическую группу Пуанкаре. Далее ход рассуждений был принципиально тот же, что и в рассмотренных выше случаях. Производилась локализация группы, т. е. полагалось, что параметры λ^μ и C_ν^μ зависят от координат, затем вводились дополнительные (калибровочные) поля для компенсации возникающих отклонений от симметрий, которые так или иначе определяли компоненты гравитационного поля.

При реализации этой программы возникало много специфических проблем технического характера, главным образом, связанных с отождествлением калибровочных полей с геометрическими понятиями общей

теории относительности. В результате была продемонстрирована возможность построения калибровочной версии теории гравитации, позволяющей взглянуть на нее как на следствие нарушений симметрий пространства-времени Минковского. Заметим, что при использовании группы Пуанкаре на самом деле получается еще более общая теория [183], описывающая не только гравитацию, но и специфическое поле кручения, ответственное за нарушение правила параллелограмма при сложении векторов.

Физик-гравитационист Н. В. Мицкевич так охарактеризовал суть этого направления исследований:

Изменяя очень ловко И локально калибровку, Мы получим электро-	Та же компенсация Дасть нам гравитацию, Если также Лоренца
маг- не- тизм.	ис- ка-. зим.

На наш взгляд, калибровочный подход к теории гравитации имеет лишь академический интерес. Деятельность в этой области стимулировалась так и не оправдавшимися надеждами на последующее объединение в рамках этого подхода гравитации с другими видами взаимодействий.

6.6. Метафизические аспекты описания взаимодействий

При описании физических взаимодействий проявляется ряд метафизических аспектов. Это относится как к первично квантованной теории поля, так и вторично квантованной, когда волновые функции частиц заменяются на операторы.

6.6.1. Вторичное квантование и виды движения по Аристотелю

Изложенное выше в значительной части относится к *первично квантованной теории*. В ее основе лежит переход от корпускул (частиц) к волновым полям — амплитудам вероятности пребывания частиц в различных состояниях. Эволюция, описываемая волновыми уравнениями, по сути дела выражает вложение состояний (вероятностных понятий) в классическое пространство-время, она осуществляется без участия данной частицы в реальных процессах.

Но квантовая теория описывает и другие виды движения, соответствующие другим аристотелевским движениям: в отношении сущно-

сти — возникновение и уничтожение элементарных частиц, в отношении количества — увеличение или уменьшение неких характеристик частиц, в отношении качества — качественные изменения в виде взаимных превращений частиц. Для описания этих видов движения в квантовой теории был развит метод вторичного квантования, а квантовая теория таких процессов была названа *вторично квантованной*.

Введение в квантовую теорию движения, соответствующего аристотелевскому *изменению сущности*, было тесно связано с обнаружением Дираком решений его уравнений с отрицательными значениями энергии, которые были интерпретированы как описывающие античастицы. Вскоре были экспериментально обнаружены позитроны, а затем — процессы рождения и уничтожения (превращения в кванты полей переносчиков взаимодействий) пар элементарных частиц (из частицы и античастицы). Как писал В. Гейзенберг, «открытие антиматерии привело к радикальным изменениям в фундаментальных понятиях атомной физики, и можно спорить о том, что оказало большее воздействие на сознание, по существу, новой физической картины в нашем столетии — открытие ли Планком кванта действия или же открытие Дираком антиматерии. (...) Процесс порождения пар показывает, что число частиц не является более удовлетворительным квантовым числом, ибо это число оказалось несохраняющейся величиной» [43, с. 85].

Аристотелевскому движению *изменения качества* в квантовой теории соответствуют процессы распада элементарных частиц. Фактически они были обнаружены на границе XIX—XX вв. в уже упоминавшихся экспериментах Беккереля с радиоактивными элементами. В XX в. было открыто и исследовано множество различных процессов взаимного превращения элементарных частиц, описываемых с помощью методов вторичного квантования. Принято такую теорию называть *квантовой теорией поля или теорией квантованных полей*, в отличие от квантовой механики (первично квантованной теории).

Теория квантованных полей является естественным обобщением квантовой механики, — в ней векторы состояний (волновые функции) частиц объявляются операторами ($\psi \rightarrow \hat{q}$), обладающими некоторыми специальными свойствами. Поскольку операторы в математике всегда должны действовать на что-то, то в квантовой теории вводится специальное *вакуумное состояние* Φ_0 , соответствующее отсутствию частиц (и полей). Частицы определяются как результат действия соответствующих им операторов на вакуумное состояние $\hat{q}\Phi_0$. Операторы обладают рядом свойств, которые также можно перечислить аксиоматически, в частности, они удовлетворяют специальным перестановочным соотношениям.

Операторы вводятся как для фермионных, так и для бозонных полей, т. е. здесь опять проявляется симметрия частиц и полей пе-

реносчиков взаимодействий. Однако, как и ранее, имеется различие, связанное с трансформационными свойствами соответствующих полей. Операторы фермионных полей $\hat{q}_a^{(f)}$ подчиняются антисимметричным (антисимметричным) соотношениям

$$\hat{q}_a^{(f)} \hat{q}_c^{(f)} + \hat{q}_c^{(f)} \hat{q}_a^{(f)} = \Delta_{ac}, \quad (6.6.1)$$

а операторы бозонных полей $\hat{q}_\mu^{(b)}$ — коммутационным (симметричным) соотношениям

$$\hat{q}_\mu^{(b)} \hat{q}_\nu^{(b)} - \hat{q}_\nu^{(b)} \hat{q}_\mu^{(b)} = \Delta_{\mu\nu}, \quad (6.6.2)$$

где нижние символы при операторах имеют собирательное значение, а правые части, обозначенные символами $\Delta_{..}$, являются *c*-числами (не операторами), вид которых зависит от представления операторов (координатного или импульсного).

Квантовая теория поля призвана описать вероятности (точнее, амплитуды вероятности) различных процессов превращения частиц. Напомним, амплитуда вероятности представляет собой некоторое комплексное число (*c*-число). Оно находится по некоторым специфическим правилам, очень близким к привычной методике квантовой механики. В символическом виде это число можно представить следующим образом

$$S = \bar{\Phi}_{-\infty} S(\hat{q}) \Phi_{+\infty} = \left(\bar{\Phi}_0 \bar{\hat{q}}_{e1} \bar{\hat{q}}_{e2} \cdots \bar{\hat{q}}_{en} \right) S(\hat{q}) \left(\hat{q}_{b1} \hat{q}_{b2} \cdots \hat{q}_{br} \Phi_0 \right), \quad (6.6.3)$$

где справа записаны операторы всех полей в начальном состоянии, действующие на вакуумное состояние Φ_0 , а слева указаны операторы частиц в конечном состоянии, также представленные в виде произведения соответствующих операторов, действующих на вакуум в конечном состоянии. В середине записано некоторое операторное выражение, содержащее фермионные и бозонные операторы. Оно позволяет найти элементы *S*-матрицы с помощью специальной методики работы с операторными выражениями. Необходимо избавиться от всех операторов так, чтобы остались только *c*-числа. Это достигается перестановкой операторов влево и вправо до состояний вакуума, чтобы они, подействовав на противоположные своему состояния вакуума, уничтожились, оставив лишь правые части коммутационных соотношений (*c*-числа) в (6.6.2) или (6.6.3). Получившаяся комбинация *c*-чисел и определяет амплитуду вероятности соответствующего процесса.

Здесь следует особо отметить, что данная процедура не включает в себя эволюцию, описываемую волновыми уравнениями. Это означает, что операторные функции, как говорят, записываются в импульсном представлении, т. е. зависят от компонент импульсов частиц, их спинов и зарядов.

Обычно эту ситуацию поясняют так, что рассматриваются начальное состояние системы на «минус-бесконечности» и конечное состояние на «плюс-бесконечности», где частицы уже перестают взаимодействовать друг с другом, и интересуются лишь результатом их взаимодействий.

Главное в этой методике состоит в написании операторного выражения для $S(\hat{q})$, что делается с помощью лагранжиана взаимодействующих частиц (см., например, [9]). Особенно детально этот вопрос проработан для квантовой электродинамики. Оказывается, для многих процессов указанная процедура сводится к рассмотрению довольно простых алгебраических соотношений, построенных по строго заданным правилам Фейнмана.

При описании электромагнитных взаимодействий электронов, позитронов и фотонов фейнмановские диаграммы содержат всего несколько факторов, которым соответствуют элементы диаграммы и выражения: вершинные части, отрезки прямых и волнистых линий с открытым с одной стороны концом или ограниченными вершинными частями с двух сторон.

6.6.2. Метафизический анализ описания взаимодействий

1. В теоретико-полевом миропонимании бозонные и фермионные поля описываются единообразно как разновидности внутри одной категории, различающиеся представлениями группы Лоренца: спинорное, векторное, тензорное второго ранга и т. д. поля. Однако калибровочный подход к описанию физических взаимодействий фактически нарушает равноправие бозонных и фермионных полей. Попытка исправить это положение предпринята в рамках суперсимметричных теорий, рассмотренных в следующей главе.

2. Отобразим фрактальность по качеству в калибровочном подходе в виде 3×3 -табл. (6.6.4), аналогичной таблицам в гл. 4 и 5.

Калибровочные теории поля: фрактальность по качеству (I)

	Пространство-время	Поля	Частицы
Обобщенное пространство	Пространство-время Минковского (база)	Пространство внутренних симметрий	Пространство скоростей (слой)
Категория поля амплитуды вероятности	Калибровочная теория гравитации	Калибровочные (бозонные) A_μ поля	Фермионные поля
Категория частиц	↑ ↑	↑ ↑	↑ ↑

(6.6.4)

В этом подходе категория пространства-времени также оказывается обобщенной: она дополняется так называемым *внутренним пространством* элементарных частиц, в котором определены $SU(3)$ -, $SU(2)$ - или $U(1)$ -симметрии.

3. Решение проблемы объединения физических взаимодействий ожидается на пути обобщения используемых групп симметрий, включающих в себя названные $U(1)$, $SU(2)$ и $SU(3)$. Эти исследования вызвали у В. Гейзенберга аналогии с учениями античных мыслителей: «Сходство воззрений современной физики с воззрениями Платона и пифагорейцев простирается еще дальше. Элементарные частицы, о которых говорится в диалоге Платона „Тимей“, ведь это в конце концов не материя, а математические формы. «Все вещи суть числа» — положение, приписываемое Пифагору. Единственными математическими формами, известными в то время, являлись геометрические и стереометрические формы, подобные правильным телам и треугольникам, из которых образована их поверхность. В современной квантовой теории едва ли можно сомневаться в том, что элементарные частицы в конечном счете суть математические формы, только гораздо более сложной и абстрактной природы» [43, с. 36].

Как нам представляется, подобные высказывания следует понимать в духе стремления к *монистической парадигме*, где категории пространства-времени, частиц и полей переносчиков взаимодействий сливаются в единое целое и *симметрии рассматриваются не сами по себе, а как свойства искомой Первоосновы*, которую имел в виду Платон.

4. Калибровочный подход (или принцип) к описанию взаимодействий и соответствующий ему способ введения бозонных полей, по определению, *присущ именно дуалистической парадигме теоретико-полевого миропонимания*. Этот факт следует иметь ввиду при рассмотрении теорий из других метафизических парадигм, где имеют место свои «правила игры» и присущие только им принципы. Например, принцип Маха справедлив лишь в реляционном миропонимании.

5. При построении калибровочных моделей физических взаимодействий *использованы далеко не все известные группы Ли*. Возникают естественные вопросы, например: почему для построения модели электрослабых взаимодействий оказались необходимыми именно группы $SU(2)$ и $U(1)$ и в таком сочетании и почему для описания хромодинамики потребовалась именно группа $SU(3)$? В рамках существующей калибровочной теории не дается ответа на эти вопросы. Это свидетельствует о том, что ответы следует искать на основе совместного рассмотрения теорий из разных метафизических парадигм, т. е. на эти вопросы нужно попытаться взглянуть с некоторых более общих позиций.

В частности, можно перебросить мостик между калибровочным подходом в рамках теоретико-полевой парадигмы и введением полей через

дополнительные размерности в многомерных геометрических моделях физических взаимодействий типа теории Калуцы в иной дуалистической парадигме — в рамках *геометрического миропонимания*. Как будет показано в третьей части книги, «внутренне» и «внешнее» пространства калибровочных теорий объединяются в рамках многомерного пространства-времени теорий Калуцы—Клейна.

Вскрытые закономерности в калибровочной теории электрослабых и сильных взаимодействий (в хромодинамике) и затем повторяющиеся в геометрическом и реляционном миропониманиях позволяют полагать, что за ними кроются проявления одних и тех же метафизических закономерностей.

6. В квантовой теории взаимодействующих полей имеются серьезные трудности, связанные с появлением бесконечно больших значений¹⁾ (расходимостей) некоторых физических величин (масс, зарядов и др.). В квантовой электродинамике можно назвать три типа расходимостей:

- 1) расходимости при малых импульсах (инфракрасная катастрофа);
- 2) расходимости при больших импульсах (ультрафиолетовые расходимости).
- 3) расходимости, обусловленные совпадением полюсов подинтегральных выражений.

Анализ показывает, что все эти расходимости в квантовой электродинамике можно исключить, введя в теорию две бесконечно большие величины с другим знаком, их компенсирующие. Однако такие процедуры, называемые перенормировками, обладают рядом недостатков, не позволяющих считать данную проблему решенной.

Для процессов, описываемых другими взаимодействиями, диаграммы существенно усложняются из-за того, что в них возникают иные вершинные части. Это означает введение других правил фейнмановского типа.

Принято различать перенормируемые и неперенормируемые теории. Перенормируемыми, к которым относится электродинамика, называются такие, в которых все расходимости можно устраниТЬ введением

¹⁾ Следует отмстить, что появление расходящихся величин в квантовой электродинамике не является свойством лишь квантовой теории. В классической электродинамике имеется их аналог. Так, при вычислении собственной энергии, допустим, электрона, обусловленной его электромагнитным полем, следует взять интеграл от плотности энергии по всему пространству. Легко показать, что этот интеграл расходится при интегрировании от нуля (для точечной частицы), что в импульсном представлении соответствует ультрафиолетовым расходимостям. Предлагались различные методики перехода от точечных частиц к частицам конечных размеров — своеобразные классические перенормировки, однако здесь возникают проблемы с сохранением релятивистской инвариантности и других положений теории.

в теорию конечного числа компенсирующих их бесконечных констант. Их немного. В неперенормируемых теориях возникает бесконечно большое число видов расходящихся величин, т. е. ситуация с расходимостями осложняется во много раз.

Наличие расходимостей в квантовой теории поля, которые не удается устранить удовлетворительным образом, является свидетельством ее неблагополучия. Без преувеличения можно утверждать, что решение проблемы устранения расходимостей считалось одной из важнейших задач в теоретической физике второй половины XX в. Напомним, что бесконечные значения некоторых величин возникают в некоторых ситуациях и в других разделах теоретической физики, в частности в общей теории относительности. Анализ таких ситуаций позволяет утверждать, что *всякое появление расходимости следует понимать как звонок, предупреждающий, что в соответствующих ситуациях теория становится неприменимой, как фактор, свидетельствующий о том, что какие-то ее положения теряют силу.* Точно так же нужно относиться и к расходимостям в квантовой теории поля. Однако здесь ситуация усугубляется тем, что расходимости возникают не в каких-то экзотических ситуациях, а при вычислениях основополагающих величин и процессов.

От квантовой механики к теории суперструн

Во второй половине XX в. на магистральном направлении развития физики (в рамках теоретико-полевого миронимания) надежды возлагались последовательно на несколько ключевых идей и принципов. В 50-х гг. в центре внимания были диаграммы Фейнмана, затем доминирующими стали исследования по аксиоматике квантовой теории. В 60-х гг. усилия исследователей были сосредоточены на методе S-матрицы, точнее, на свойствах аналитичности S-матрицы. В 70-х и начале 80-х гг. упор делался на групповые методы и калибровочную теорию физических взаимодействий. Во второй половине 80-х — начале 90-х гг. надежды возлагались на суперсимметричные теории, а в самом конце XX в. — на теории суперструн и бран.

Названные исследования выполнялись в рамках дуалистической теоретико-полевой парадигмы с соответствующей ей копенгагенской интерпретацией квантовой теории, т. е. на основе концепции близкодействия при сохранении в простом или обобщенном виде категории пространства-времени. Они были нацелены, во-первых, на построение единой теории физических взаимодействий, во-вторых, на устранение расходимостей в квантовой теории и, в-третьих, на более тесное объединение фермионных и бозонных полей.

Наличие двух видов полей — фермионных и бозонных, причем содержащих ряд разновидностей, — многим физикам справедливо представлялось недостатком теории. Были предприняты попытки построения единой теории поля, опирающейся на две более четко определенные категории: единого поля и некого обобщенного пространственно-временного многообразия. Венцом этих исследований явились теории суперсимметриями, в частности теории суперструн и бран. Большинство современных физиков-теоретиков возлагает надежды именно на эти теории. В суперсимметричных теориях классическое 4-мерное пространство-время обобщается до суперпространства, характеризуемого наряду с 4 классическими координатами еще совокупностью гравитановых переменных.

Однако прежде чем обсуждать теории с суперсимметриями, следует напомнить о предварительных попытках построения единой теории поля, в частности на базе лишь одного бозонного или фермионного поля.

7.1. Нелинейные теории поля

Первые два этапа поиска единой теории поля составили попытки описания категорий (массивных) частиц в виде своеобразных сгустков поля, что ожидалось осуществить на базе нелинейных обобщений уравнений безмассовых полей.

7.1.1. Гипотеза единой нелинейной бозонной теории поля

Уже в XIX в. были начаты попытки построения всей физики на основе одного векторного поля, каковым виделось электромагнитное поле. Была выдвинута программа описания частиц как неких сгустков обобщенного (нелинейного) бозонного поля в (плоском) пространстве-времени. Очевидно, что данная программа имела метафизический характер, так как затрагивала вопрос о числе ключевых категорий физики — была нацелена на переход от трех категорий (триалистической парадигмы) ньютоновской физики к дуалистической парадигме, опирающейся на категории пространства-времени и бозонного поля.

Чтобы решить поставленную задачу, необходимо использовать нелинейные уравнения бозонного поля, содержащие квадратичные и слагаемые более высоких степеней из потенциалов поля, описывающие его воздействия на самого себя. Благодаря им поле как бы держит самого себя в виде некоторого сгустка в пространстве-времени, что предлагается трактовать как частицу. Это направление исследований начало формироваться еще в XIX в. на основе идеи об электромагнитной природе материи и имело множество сторонников в XX в. Назовем несколько наиболее известных вариантов подобных теорий.

1. Примерно в 1912 г. Г. Ми была создана нелинейная теория, согласно которой энергия вещества, сами заряды и их свойства имеют электромагнитное происхождение. Исходя из этого, теория строилась на основе плотности лагранжиана

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{16\pi} F^{\mu\nu} F_{\mu\nu} + f(A), \quad (7.1.1)$$

где $f(A)$ — некоторая функция инварианта от электромагнитного векторного потенциала $A = \pm\sqrt{A_\mu A^\mu}$. Сравнивая (3.3.1) с (7.1.1), легко видеть, что последнее слагаемое справа призвано заменить лагранжиан

частиц. Из (7.1.1) стандартными методами получается нелинейное обобщение уравнений Максвелла.

2. Несколько позднее, в 30-х гг., М. Борном и Л. Инфельдом был предложен другой, более совершенный вариант нелинейной электродинамики. В частности, в нем некалибровочно инвариантный член с векторным потенциалом был заменен на нелинейное выражение из напряженностей электромагнитного поля. Плотность лагранжиана (в пространстве-времени Минковского) была выбрана в виде

$$\mathcal{L} = \left(\sqrt{-F} - b^4 \sqrt{-\eta} \right), \quad (7.1.2)$$

где F обозначает определитель (детерминант), построенный из компонент тензора $b\eta_{\mu\nu} + F_{\mu\nu}$:

$$F = \begin{vmatrix} b & F_{01} & F_{02} & F_{03} \\ F_{10} & -b & F_{12} & F_{13} \\ F_{20} & F_{21} & -b & F_{23} \\ F_{30} & F_{31} & F_{32} & -b \end{vmatrix}, \quad (7.1.3)$$

а η — определитель, построенный из компонент $\eta_{\mu\nu}$ — метрики пространства-времени Минковского. Здесь b — некая размерная константа. Этот вариант теории до сих пор обсуждается рядом исследователей.

3. В литературе известен также ряд упрощенных идеализированных вариантов, когда вместо многокомпонентного электромагнитного поля рассматривалось нелинейное скалярное поле, т. е. нелинейное обобщенное уравнение Клейна—Фока. На эти теории можно смотреть как на предварительные, модельные, на которых в максимально упрощенном виде пытались отработать принципиальные моменты данной программы. В настоящее время подобные исследования тесно связаны с поиском так называемых солитонных решений. По этой теме имеется довольно обширная литература (см., например, [71]). Во второй половине XX в. в рамках этого подхода проводилась работа в группах ряда отечественных исследователей: Я. П. Терлецкого, К. П. Станюковича, В. Н. Мельникова [157] и других.

4. В XX в. значительное внимание уделялось нелинейным скалярным и электромагнитным уравнениям в искривленном пространстве-времени. В этом случае к нелинейным уравнениям физических полей добавляются уравнения Эйнштейна, также нелинейные. Поскольку исходные поля входят в уравнения Эйнштейна и тем самым искривляют пространство-время, то эффекты нелинейности усиливаются. Полагалось, что подобные программы имеют значительно больше шансов на успех. Отметим, что в этих работах используются понятия из разных видений мира: часть полей берется геометризованными (геометрическое видение), а другая часть имеет самостоятельный характер. Некоторые

физики сознательно идут на использование такой двойственной природы полей, рассматривая подобные конструкции как предварительные, вспомогательные модели искомой теории.

Теории (точнее, программы) данной парадигмы встретились с рядом существенных трудностей, главная из которых связана с неустойчивостью, т. е. с расплыванием во времени солитонных решений — полевых сгустков, моделирующих элементарные частицы. Даже если бы удалось решить проблему устойчивости, то далее пришлось бы преодолевать другие, не менее серьезные проблемы. Прежде всего, следует назвать проблему квантования нелинейной теории, — в ней нарушаются принцип суперпозиции. Имеются также трудности с описанием спинорных частиц, с формулировкой принципа причинности и другие. Тем не менее сторонники этой парадигмы, завороженные большими возможностями нелинейных уравнений поля, считают трудности временными и не теряют надежду, что их удастся преодолеть.

7.1.2. Гипотеза единой нелинейной спинорной теории поля

Вторая стадия исследований в русле программы построения единой теории поля, имевшая пик популярности в 50-х — 60-х гг. XX в., основывалась на теории нелинейных фермионных полей. Так, один из ее горячих сторонников Д. Д. Иваненко в те годы писал: «По-видимому, нелинейная спинорная теория является наиболее обоснованной, если не единственной надежной современной физики в смысле построения объединенного описания всей материи» [71, с. 37].

У истоков этого направления исследований стоял Л. де Бройль. Основная идея была прежняя, однако теперь предлагалось исходить не из нелинейных уравнений бозонных полей, а из нелинейных обобщений спинорных уравнений Дирака. Тем самым с самого начала исключалась существенная трудность первой стадии, связанная с описанием спинорных свойств частиц, а бозонные поля предлагалось строить из фермионных полей посредством гипотезы слияния. Известно, что из спиноров можно образовать векторы и тензоры, но не наоборот.

Как писал Д. Д. Иваненко, «спинорный характер фундаментального поля вытекает из аргументов де Бройля и модели сложных частиц. Если стоять на точке зрения единой теории и вводить лишь одно поле, то это поле может взаимодействовать только с самим собою; а оно должно с чем-то взаимодействовать, чтобы давать возбужденные состояния в виде различных частиц. Следовательно, уравнения спинорной материи должны быть нелинейными. Таким образом, отправным пунктом должно явиться уравнение, обобщающее спинорное уравнение Дирака членом типа ψ^3 , предложенное нами в 1938 г. и анализированное впо-

следствии в наших работах с Бродским, группой Финкельстейна и другими... Возникает вопрос относительно установления всех возможных нелинейных добавок к спинорному уравнению или соответствующих инвариантов типа ψ^4 » [71, с. 15].

Исследовались различные варианты нелинейных обобщений уравнений Дирака:

$$\begin{aligned} i\gamma^\mu \frac{\partial\psi}{\partial x^\mu} + \lambda\psi^3 &= 0; & i\gamma^\mu \frac{\partial\psi}{\partial x^\mu} + \lambda(\bar{\psi}\psi)^{1/3} &= 0; \\ i\gamma^\mu \frac{\partial\psi}{\partial x^\mu} + \lambda(\psi^\dagger \gamma_\mu \gamma_5 \psi) \gamma^\mu \gamma_5 \psi &= 0; \dots, \end{aligned} \quad (7.1.4)$$

где $\lambda \equiv l^2$ — квадрат фундаментальной длины.

Значительный импульс исследованиям такого рода придали работы В. Гейзенберга конца 50-х гг., который следующим образом охарактеризовал суть данной программы: «В проблеме основного уравнения речь идет о нелинейном волновом уравнении для операторов поля. Это уравнение рассматривается как математическое представление всей материи, а не какого-либо определенного вида элементарных частиц или полей. Это волновое уравнение математически эквивалентно сложной системе интегральных уравнений, которые, как говорят математики, обладают собственными значениями и собственными решениями. Собственные решения представляют элементарные частицы. Следовательно, они суть математические формы, которые заменяют правильные тела пифагорейцев» [43, с. 37].

Заметим, что идеи этого направления исследований были естественны для 50-х — 60-х гг. [142], когда еще не выдвинулся на первый план принципиально различный характер спинорных и бозонных (калибровочных) полей. В таких теориях имеются и другие трудности нелинейных теорий, названные при обсуждении единой бозонной теории поля. Постепенно интерес к этим исследованиям угас, хотя вера в эту идею среди части физиков окончательно не пропала.

7.1.3. Пространство-время в искомой единой теории поля

Как уже подчеркивалось, теория поля, в том числе и искомая единая теория поля, самым существенным образом опирается на допущение об априорном существовании непрерывного пространственно-временного многообразия. Более того, при построении единой теории поля, как правило, используется чрезвычайно важное допущение метафизического характера: вспомогательный математический объект — нулевое состояние вакуума, введенное во вторично квантованной теории поля, овеществляется и тесно связывается с категорией обобщенного пространства-времени. В таком виде вакуум приобретает статус обобщенной

физической категории, фактически претендующей на роль первоосновы всего мироздания.

Так, Дж. Уилер с соавторами писал: «Пустое пространство вовсе не является пустым — оно представляет собой вместилище самых бурных физических процессов. Электромагнитное поле флуктуирует. Там непрерывно рождаются и аннигилируют виртуальные пары электронов и позитронов, пары мю-мезонов, пары барионов и пары других частиц. Все эти флуктуации существуют наряду с квантовыми флуктуациями геометрии и топологии пространства» [109, с. 469].

Аналогичную позицию занимает А. А. Гриб, работающий в области квантовой теории поля и гравитации: «Проблема материи или «твёрди», на которой стоит мир, с древнего времени волновала человечество. Однако каково было бы удивление древних мыслителей, если бы они узнали, что, согласно представлениям физиков XX в., такой основой мира является... вакуум! В самом деле, возбуждениями именно вакуумного состояния являются все элементарные частицы, из которых, в свою очередь, сложен весь окружающий мир. Поэтому изучение вакуума и его свойств превращается в одну из наиболее фундаментальных задач теоретической физики. Постараемся пристальнее всмотреться в то, что же собой представляет вакуум. Прежде всего заметим, что от старой, вполнеrationально формулируемой концепции «небытия» мало что осталось. (...) Небытие как отсутствие и частиц, и поля невозможно. Всматриваясь в вакуум, мы видим не темноту, а отдельные мерцающие вспышки — флуктуации вакуума, или нулевое поле вакуума. (...) Тем самым в физике элементарных частиц возникает парадоксальная ситуация, когда в основе одной из наиболее рациональных областей знания — теоретической физики — лежит совершенно иррациональное представление. Можно было бы придумать множество поэтических названий для вакуума физики элементарных частиц — это «мир» Гейзенberга, и «бездна», и меон древних греков и т. п. Однако бесконечность плотности энергии и полной энергии вакуума — это еще не все его необычные свойства» [50, с. 3].

Однако такой вакуум еще нельзя назвать в полном смысле единым первоначалом, поскольку он еще наделен многими атрибутами категорий дуалистической парадигмы. Например, в процитированном высказывании Гриба говорится о «бесконечной плотности энергии», что предполагает пространственно-временные понятия. В высказывании Уилера с соавторами говорится о «пустом пространстве» как «вместилище самых бурных физических процессов». Все это заставляет назвать *физическiй вакуум как временное (промежуточное) представление о едином первоначале с позиции теоретико-полевого миропонимания*.

Однако в работах классиков фундаментальной теоретической физики была представлена и иная точка зрения относительно категории

пространства-времени в будущей теории. Она обсуждена в четвертой и пятой частях книги в рамках реляционного подхода к физике. Здесь лишь отметим, что в 60-х гг. XX в. в период расцвета исследований по аксиоматике квантовой теории и теории S-матрицы предпринимались попытки построения физики микромира, не опираясь на априорно заданный пространственно-временной фон. Здесь имеются в виду работы Е. Циммермана [190], Дж. Чью [192], Дайсона [53] и других авторов.

Естественно положить, что искомая теория с обобщенной категорией, заменяющей классическое пространство-время, будет построена в рамках новой, монистической парадигмы. Можно надеяться, что современные исследования в рамках дуалистической теоретико-полевой парадигмы так или иначе нас приближают к осознанию принципов теории, основанной на монистической парадигме, а понятие бурлящего физического вакуума являются ни чем иным, как пока отдаленным представлением о сути искомого первоначала искомой монистической теории, как оно видится со стороны теоретико-полевого подхода.

Заметим, что монистическая парадигма не означает отказа от классического пространства-времени в буквальном смысле этого слова, а лишь предполагает переход к еще более обобщенной единой и нераздельной физической категории, включающей в себя категорию пространства-времени, подобно тому, как в квантовой теории были объединены волновые и корпускулярные свойства частиц или как в 4-мерном пространстве-времени объединились отдельные понятия пространства и времени.

7.2. Гипотеза объединения полей на основе суперсимметрии

Третью стадию объединения бозонных и фермионных полей составили исследования так называемых суперсимметрических теорий, основанных не на включении одной разновидности поля в другую, а на их представлении в виде проявлений некоего единого суперполя — супермультиплета.

7.2.1. Суперсимметрия и суперполе

Программа построения теорий такого рода возникла благодаря открытию закона совместного преобразования фермионных и бозонных величин. Симметрия относительно таких преобразований была названа *суперсимметрией*.

В теориях такого рода одной из двух физических категорий является специфическое обобщение классического пространства-времени до так называемого *суперпространства* которое можно понимать как

своеобразное многомерное пространство-время. Однако если в теориях Калуцы–Клейна, которые будут обсуждаться ниже, оно вводится для геометрического описания бозонных полей, то в суперсимметричных теориях оно предназначено для описания именно спинорных полей. Можно сказать, что этот подход составляет вершину дуалистического теоретико-полевого миропонимания.

Уже в теориях Калуцы–Клейна дополнительные размерности (координаты) имеют существенно иной характер по сравнению с классическими: они компактифицированы (замкнуты). При определении суперпространства наблюдается еще больший отход от привычного понимания координаты как вещественного числа, — дополнительные орты описываются элементами алгебры Грассмана.

Напомним, что понятие вещественного числа многократно обобщалось, причем по разным направлениям. Отдельные вещественные числа — скаляры — были обобщены до векторных и тензорных величин. По другому признаку было сделано обобщение в сторону комплексных чисел. Были введены спиноры различного ранга, бисиноры. В математике широко представлены и другие величины, например известны арифметики с конечным числом элементов и т. д.

Другое обобщение понятия числа связано с отказом от известного правила: от несмены мест сомножителей (слагаемых) произведение не меняется. В математике есть теории, где оно может измениться. Это реализуется в теории кватернионов (см. [62, 79]), в алгебрах Клиффорда, Грассмана и других, характеризующихся конечным числом образующих, для которых имеют место специальные правила умножения. Так, описание спинорных величин заставило использовать γ -матрицы Дирака, которые являются образующими соответствующей алгебры Клиффорда. Для них справедливы ранее выписанные соотношения (5.2.13). Все 4×4 -матрицы с комплексными элементами можно построить из γ -матриц и их произведений.

В алгебре Грассмана с четырьмя образующими θ_α ($\alpha = 1, 2, 3, 4$) имеют место правила (антикоммутации) с нулевой правой частью

$$\theta_\alpha \theta_\beta + \theta_\beta \theta_\alpha = 0 \quad (7.2.1)$$

для любых значений α и β . В простом суперпространстве точки характеризуются восьмью обобщенными координатами: четырьмя классическими x^μ и четырьмя новыми при образующих алгебры Грассмана.

Как известно, в пространстве-времени Минковского имеется 10-параметрическая группа координатных преобразований Пуанкаре из преобразований Лоренца и трансляций — сдвигов. В простом суперпространстве аналогичным образом определяется расширенная 14-параметрическая группа Пуанкаре из супертрансляций и поворотов. Супертрансляции перепутывают классические координаты и грассмановы перемен-

ные. При обычных преобразованиях Лоренца гравитационные переменные преобразуются как компоненты спинора.

Четверка дополнительных антисимметрирующих величин θ_α характеризует минимальное обобщение классического пространства-времени, т. е. определяет простое суперпространство, соответствующее как бы 5-мерной теории Калуцы—Клейна. Аналогично переходу к 6, 7 и большему числу измерений в теориях Калуцы—Клейна, в суперсимметрических теориях можно брать несколько четверок антисимметрирующих величин θ_{ab} , снабдив их индексом b , где $b = 1, 2, \dots, N$. В зависимости от числа N говорят о расширенной N -суперсимметрии.

В суперсимметрической теории на фоне суперпространства определяется обобщенное поле (вторая физическая категория) — так называемое *суперполе* $\Phi(x, \theta)$, зависящее от 8 обобщенных координат в случае простой суперсимметрии или от $4+4N$ координат в случае N -расширенной суперсимметрии. Далее предполагается, что суперфункцию $\Phi(x, \theta)$ можно раскладывать в ряды по переменным θ_{ab} . Здесь возникает чрезвычайно любопытная ситуация, принципиально отличающаяся от имеющейся в теории функций обычных переменных. Вместо бесконечного ряда получается конечное число членов разложения. Это связано со свойствами алгебры Гравитана, в которой можно строить произведения из количества слагаемых, не превышающего число образующих алгебры. Как только появляются две одинаковые образующие, путем антисимметризации соотношений (7.2.1) их можно поставить рядом, а их квадрат равен нулю. В общем случае при каждом слагаемом разложения по степеням θ будет стоять некоторая тензорная или спинорная функция в зависимости от того, при четной или нечетной степени θ она стоит. Следовательно, суперполе $\Phi(x, \theta)$ характеризуется набором функций-коэффициентов разложения (супермультиплегом), где спинорные и тензорные функции входят симметричным образом.

Лагранжиан суперсимметрической теории строится из инвариантных выражений, содержащих суперполе и первые производные от него по координатам, как классическим, так и θ_{ab} . Разработана теория, соответствующая интегральному и дифференциальному исчислению с величинами из алгебры Гравитана, которая имеет много необычного по сравнению с привычным математическим анализом, однако в ней все операции четко определены и довольно просты. Супердействие в суперсимметрической теории определяется, как обычно, в виде интеграла по всем переменным. После интегрирования по гравитационным переменным получается 4-мерное действие, выражющееся только через 4-мерные спинорные и бозонные функции (ранее упомянутые коэффициенты разложения) в 4-мерном пространстве-времени.

Гравитационные переменные в итоговых выражениях не встречаются. Они выполнили свою роль, определив окончательные комбинации из

фермионных и бозонных полей. В итоге возникает некая симметрия между совокупностями фермионных и бозонных полей, что породило надежды на решение ряда проблем.

Во-первых, физики ожидали, что суперсимметричные теории приведут к некоему фундаментальному набору из бозонных и фермионных полей, который бы явился теоретическим обоснованием наблюдавшегося на опыте набора частиц и полей, и таким образом удастся предсказать новые частицы. Но это ожидание не оправдалось. С ростом N число полей быстро увеличивается, и какими распорядиться, не известно.

Во-вторых, предполагалось скомбинировать из множества получающихся полей супермультиплета комбинации, соответствующие объединенной теории электрослабых и сильных взаимодействий. Другими словами, надеялись с помощью этой теории построить теорию великого объединения, однако эти надежды не оправдались.

В-третьих, ожидалось, что на основе суперсимметрии удастся построить квантовую теорию поля, свободную от расходимостей. Анализ показал, что одни расходимости обусловлены бозонными полями, а другие — фермионными, причем в ряде случаев расходимости возникают с разными знаками. При наличии симметрии между теми и другими полями во многих случаях расходимости удается взаимно погасить. В связи с этим Р. Пенроуз пишет: «Притягательность идей суперсимметрии связана с их математическим изяществом и с несомненной ролью суперсимметрии в устраниении большой группы бесконечностей в моделях квантовой теории поля, которые появились благодаря ей. Представим, что вы — физик, стремящийся построить квантовую теорию поля, свободную от неконтролируемых бесконечностей. Тогда ваша задача окажется неизмеримо проще, если вы сделаете вашу теорию суперсимметричной» [127, с. 727]. Однако глобального решения данной проблемы здесь также не было получено.

Теория суперсимметрии в 80-х гг. обладала настолько большой притягательной силой, что даже отсутствие экспериментальных подтверждений не очень смущало ее сторонников. Многие из них верили (и продолжают верить), что заложенные в основу теории принципы настолько «красивы», что не могут не реализовываться в природе. Надежды еще более окрепли после объединения идей суперсимметрии с идеями теории струн.

7.2.2. Метафизический анализ теорий с суперсимметрией

Отмеченная выше асимметрия бозонных и фермионных полей в рамках дуалистической физической парадигмы устраняется в суперсимметричных теориях, опирающихся на принцип суперсимметрии этих полей. Можно сказать, что в этом подходе достигается аналог дуалистической

физической идеологии (парадигмы). Фрактальность по качеству этой ветви физического миропонимания проиллюстрирован табл. (7.2.2).

Теории с суперсимметрией: фрактальность по качеству

	Пространство-время	Поля	Частицы
Категория суперпространства	4-мерное пространство-время	Грассмановы переменные	
Категория супермультиплета	Гравитационное поле ←	Бозонные составляющие	Фермионные составляющие
Категория частиц	↑↑	↑↑	↑↑

(7.2.2)

Как было показано, данная разновидность дуалистической теоретико-полевой парадигмы опирается на обобщение категории классического 4-мерного пространства-времени до суперпространства добавлением к 4 классическим координатам грассмановых переменных. Таким образом, здесь также используется своеобразное многомерие, однако если в теориях Калуцы—Клейна дополнительные размерности вводились для геометризации бозонных полей, то в суперсимметричных теориях оно предназначено для единообразного описания бозонных и фермионных полей.

В категории суперпространства также проявляется принцип фрактальности: классические координаты непосредственно соответствуют прежней категории пространства-времени, а элементы грассмановой алгебры — второй обобщенной категории поля амплитуды вероятности. В свою очередь, в категории супермультиплета также проявляется фрактальность в виде двоичности, — бозонные составляющие соответствуют категориям пространства-времени и полей, а фермионные составляющие — категории частиц. Гравитационное поле является одной из бозонных составляющих супермультиплета. Напомним, что число $N = 8$ определяется условием, чтобы среди бозонных составляющих мультиплета было лишь одно тензорное поле второго ранга, которое интерпретируется как гравитационное поле.

7.3. Гипотеза суперструнных оснований физики

Четвертый этап в построении дуалистического теоретико-полевого миропонимания составляют исследования суперструн, в которых можно выделить ряд стадий развития: теория струн, теория бран (супербран или D-бран), супергравитация, М-теория.

Поскольку исследования в этой области находятся на переднем крае развития современной теоретической физики и так как в них используются чрезвычайно мощные методы практически из всего арсенала современной математики, то вряд ли возможно в ограниченном объеме достаточно полно описать содержание и достижения этих исследований. Автор непосредственно не работает в этой области из-за скептического отношения к данной программе, обоснованного ниже. По совокупности названных причин ограничимся качественным описанием этой программы и ее перспектив, как они видятся ее сторонникам. После этого произведем анализ достижений в этой области на основе мнений как непосредственных разработчиков программы, так и ряда компетентных ее критиков. И лишь после этого будут приведены метафизические доводы против программы суперструн.

7.3.1. Теория суперструн

В 80-е годы центр тяжести работ по объединению фундаментальных взаимодействий постепенно стал перемещаться на новое направление — на исследования возможностей теории суперструн. В основании этой теории лежат три идеи: 1) идея о нелокальности (неточечности) объектов — носителей фундаментальных взаимодействий, 2) на соображения о суперсимметрии между бозонами и фермионами и 3) на идею Калуцы о многомерии физического пространства-времени. Таким образом, можно сказать, что теория суперструн впитала в себя основные достижения предшествующих этапов развития теоретической физики.

Идея использования струны как модели для описания частиц возникла в адронной физике. При изучении кварковой структуры адронов (мезонов и барионов) выяснилось любопытное свойство сильных взаимодействий. Оказалось, что на расстояниях порядка 10^{-13} см глюонные поля, связывающие кварки, сосредоточены не равномерно в пространстве, а вдоль линий, соединяющих кварки. Это привело к представлению, например, о мезонах как о нелокальных объектах — одномерных струнах, на концах которых расположены кварки и антикварки. Представления о частицах как релятивистских струнах показались более простыми, нежели хромодинамические квантовополевые модели частиц; более того, было показано, что с их помощью можно получить многие предсказания, даваемые теорией поля. Например, на основе теории струн удавалось объяснить рост потенциала взаимодействия между кварками с увеличением расстояния (больше 10^{-13} см), т. е. обосновать невозможность наблюдения кварков в свободном состоянии.

Однако такие простейшие варианты теории струн не выдержали проверки временем. Вскрылось множество их недостатков. Так, в спектре предсказываемых теорией частиц оказались тахионы (частицы, рас-

пространняющиеся со скоростью, большей скорости света), безмассовые частицы спина 2 и другие, от которых необходимо было избавляться в адронной физике. Выяснилось также, что для построения квантовой теории взаимодействующих частиц, соответствующей наблюдаемым процессам, необходимо помешать струну в пространство-время с размерностью $n = 10$.

В конце 70-х гг. Дж. Шерк и Дж. Шварц догадались, что необходимость высоких размерностей пространства-времени в теории струн может быть не недостатком, а ее достоинством, если ее использовать для объединения всех фундаментальных взаимодействий, включая гравитацию, а дополнительные размерности понимать в духе идей Калуцы и Клейна. При этом «пригодились» буквально все основные достижения предшествующих исследований: «лишние» безмассовые состояния в теории струн можно интерпретировать как калибровочные поля Янга–Миллса, а введение принципа суперсимметрии помогло избавиться от тахионов.

В настоящий момент суперструны понимаются как релятивистские одномерные объекты (1-мерные в пространственном смысле, с учетом времени они 2-мерные) с характерной длиной порядка планковской ($l \approx 10^{-33}$ см), помещенные в 10-мерное пространственно-временное многообразие. Шесть дополнительных размерностей компактифицированы (топологически замкнуты). Топологические свойства многообразия определяют основные черты динамики суперструн в низкоэнергетическом, т. е. наблюдаемом пределе. Масштаб масс частиц определяется натяжением T суперструны, причем $\sqrt{T} \approx M_{Pl}c^2 \approx 10^{19}$ Гэв.

Важное отличие теории суперструн от локальной теории поля состоит в том, что в ней свободная суперструна характеризуется бесконечным числом супермультиплетов, соответствующих нормальным модам ее колебаний, тогда как в локальной теории каждое поле описывает частицы (кванты) только одного сорта. Суперструны имеют одинаковое число как фермионных, так и бозонных степеней свободы, что следует из принципа суперсимметрии. Безмассовое состояние спина 2 в низкоэнергетическом пределе предлагается интерпретировать как гравитон. На этом основании принято считать, что теория суперструн содержит также теорию гравитации.

Суперструнные теории делятся на два основных типа: тип I описывает открытые струны и замкнутые неориентированные струны, а тип II – так называемые ориентированные струны.

Нобелевский лауреат С. Вайнберг следующим образом объясняет суть теории суперструн: «Струны можно представить себе как крохотные одномерные разрезы на гладкой ткани пространства. Струны могут быть открытыми, с двумя свободными концами, или замкнутыми, как резиновая лента. Пролетая в пространстве, струны вибрируют. Каждая

из струн может находиться в любом из бесконечного числа возможных состояний (мод) колебаний, похожих на обертоны, возникающие при колебаниях камертонов или скрипичной струны. Со временем колебания скрипичной струны затухают, так как энергия этих колебаний переходит в энергию случайного движения атомов, из которых скрипичная струна состоит, т. е. в энергию теплового движения. Напротив, струны, о которых сейчас идет речь, поистине фундаментальные составные части материи, и могут продолжать колебаться бесконечно долго. Они не состоят из атомов или чего-то в этом роде, поэтому энергии их колебаний не во что переходит. Предполагается, что струны очень малы, так что если разглядывать их с достаточно больших расстояний, они кажутся точечными частицами. Так как струна может находиться в любой из бесконечно большого числа возможных мод колебаний, она выглядит как частица, которая может принадлежать к одному из бесконечно большого числа возможных сортов, соответствующих определенной моде колебаний струны» [18, с. 167].

Б. Грин в своей эмоционально написанной книге «Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории» пишет: «Если вы разделяете веру в то, что законы физики не должны делиться на законы, управляющие макромиром, и законы, диктующие правила для микромира, а также верите, что мы не должны останавливаться, пока у нас не будет теории с неограниченной областью применимости, тогда теория струн — ваша единственная надежда» [51, с. 144]. В другом месте можно найти его же высказывание: «Когда вы знакомитесь с теорией струн и осознаете, что почти все основные достижения физики последнего столетия можно получить, и притом весьма изящным образом, из столь простой отправной точки, — вы понимаете, что перед вами невероятно могучая теория, единственная в своем роде» (цит. по [51, с. 738]).

Э. Виттен, ведущий специалист в этой области, сказал: «Как было замечено (Даниелем Амати), теория струн — это физика двадцать первого столетия, случайно попавшая в двадцатый век» (цит. по [51, с. 738]).

Нобелевский лауреат С. Вайнберг в своей книге «Мечты об окончательной теории» написал: «С этой точки зрения квантовая теория поля типа стандартной модели представляет собой низкоэнергетическое приближение к фундаментальной теории, которая является совсем не теорией полей, а теорией струн. Сейчас мы полагаем, что квантовые теории полей работают столь успешно при энергиях, доступных современным ускорителям, совсем не потому, что окончательное описание природы возможно на языке квантовой теории поля, а потому, что любая теория, удовлетворяющая требованиям квантовой механики и специальной теории относительности, при достаточно малых энергиях выглядит как квантовая теория поля. Мы все больше и больше воспринимаем

стандартную модель как *эффективную квантовую теорию*, причем прилагательное «эффективная» служит для напоминания, что все такие теории суть лишь низкоэнергетические приближения к совершенно другой теории, возможно, теории струн. Стандартная модель — сердцевина современной физики, по такое изменение отношения к квантовой теории поля может означать начало новой эры постмодерна» [18, с. 168].

Однако имеются и иные точки зрения. Скептическое отношение к теории суперструн высказывает Р. Пенроуз: «Я отнюдь не убежден в высокой физической ценности схемы суперсимметрии, по крайней мере в той форме, в которой она применяется сегодня в физике элементарных частиц и теориях, лежащих в ее основе» [127, с. 727]. Далее он пишет: «Как же выдержали испытание временем эти замечательные исходные идеи спустя более чем 30 лет после их появления? Подтвердили ли последующие изыскания в этой области возлагавшиеся на них надежды? На эти вопросы разные люди могут дать совершенно различные ответы. Теория струн иногда оказывается эмоционально окрашенной в довольно сильной степени. Для ее бескомпромиссных приверженцев теория струн (с более позними уточнениями) — это подлинная физика XXI в., она представляет собой революцию в физическом мышлении, сравнимую (если не превосходящую их) с теми, которые совершили в свое время общая теория относительности и квантовая механика. Для ее крайних противников она до сих пор не достигла, в физическом отношении, абсолютно ничего, и она имеет мало шансов сыграть сколько-нибудь существенную роль в физике будущего» [127, с. 738].

Отметим, что в последнее время наблюдается увеличение числа критических замечаний и негативных оценок перспективности суперструнного подхода.

7.3.2. Физический анализ программы суперструн

Постараемся разобраться в том, чего удалось реально достичь в рамках теории суперструн, а что осталось на уровне надежд и деклараций.

1. Главная цель исследований в области теории суперструн состояла в избавлении квантовой теории от бесконечностей.

Как известно, в квантовой теории поля возникают расходимости нескольких видов. Наиболее серьезными считаются так называемые ультрафиолетовые расходимости, связанные с необходимостью учета бесконечно больших обменных импульсов при допущении о возможности неограниченного сближения точечных частиц. В струнной же модели фактически точечные частицы квантовой теории поля заменяются конечными объектами (струнами), что служит достаточно веским основанием для надежд на устранение ультрафиолетовых расходимостей. (Напомним, что такие расходимости возникают и в классической

электродинамике при учете энергии поля в бесконечно близкой области от центра точечных частиц.)

Конкретные вычисления на основе струнной модели в значительной степени оправдывают эти надежды, что привело к многочисленным заявлениям сторонников теории суперструн, что эта теория окончательно решает проблему расходимостей. Так ли это на самом деле?

У Пенроуза можно найти такое высказывание: «Хотя некоторые сторонники теории струн могли признать, под давлением аргументов, что не все заявления о конечной теории полностью обоснованы, этому не придавалось большого значения. Как заметил один выдающийся физик-теоретик из числа таких сторонников: „Конечный характер теории струн настолько очевиден, что, если бы кто-то опубликовал доказательства этого, я не стал бы его читать“» [127, с. 741].

Далее Пенроуз пишет: «Несмотря на повторяющиеся заверения, никакого математического обоснования декларируемой конечности пока предоставлено не было. Утверждения относительно конечности относятся лишь к *ультрафиолетовым* расходимостям (соответствующим большим импульсам и малым расстояниям), которые считаются наиболее опасными в квантовой теории поля, но даже такие расходимости пока были устранины лишь на двухпетлевом уровне. Кроме того, пока, по-видимому, не было заявлений об устраниении *инфракрасных* расходимостей (при малых импульсах и больших расстояниях). Хотя последние считаются менее серьезными, чем ультрафиолетовые расходимости, их определенно нельзя игнорировать и необходимо учитывать тем или иным способом в попытках обосновать конечность. Это оставляет нас в некоторой неопределенности относительно всей программы в целом, поскольку конечность является краеугольным камнем всей теории струн» [127, с. 755].

2. Самым существенных недостатков теории струн и вообще теорий с суперсимметриями является отсутствие каких-либо ее экспериментальных подтверждений.

Как пишет Р. Пенроуз, «главная трудность теории суперсимметрии (в ее нынешнем виде) заключается в ее требовании, чтобы каждая из элементарных частиц, существующих в природе, имела так называемого «суперпартнера», у которого спин отличался бы от спина исходной частицы на $\hbar/2$. Это требует существование «электрона» со спином 0 как партнера электрона, «скварка» со спином 0 для каждой разновидности кварков, «фотино» со спином 1/2 как партнера фотона, партнеров «вино» и «зино» со спином 1/2 соответственно для W - и Z -бозонов и т. д. и т. п. Беда в том, что ни один из таких «суперпартнеров» пока не обнаружен. Официальное объяснение этого обстоятельства состоит в том, что из-за наличия некоторого механизма «нарушения суперсимметрии» (природа которого никогда не была описана должным образом)

эти предполагаемые суперпартнеры должны иметь намного большую массу, нежели соответствующие им элементарные частицы. Постулируется, что масса этих ненаблюдавшихся частиц должна превышать массу протона в тысячу и более раз. Должен сказать, что я отнюдь не одинок, считая, что все это выглядит несколько надуманным» [127, с. 720]. (Легко понять появление суперпартнеров из основного постулата суперсимметрии, предназначенного для введения полной симметрии между бозонными и фермионными полями.)

Аналогичная проблема возникает и с обнаружением предсказываемых теорией струн частиц с необычными зарядами. Так, Б. Грин пишет: «Теория струн допускает существование мод резонансных колебаний, которым соответствуют частицы с существенно иным электрическим зарядом. Например, электрический заряд частиц может принимать ряд экзотических дробных значений, таких как $1/5$, $1/11$, $1/13$ или $1/53$. (...) Как и в случае с суперпартнерами, частиц с таким экзотическим электрическим зарядом пока никому не удалось наблюдать, а современный уровень развития теории струн не позволяет сделать определенные выводы о массе, которую могут иметь эти частицы, если в силу свойств дополнительных измерений они действительно существуют. Объяснение того, что они до сих пор не открыты, опять же состоит в том, что если они существуют, их массы находятся за пределами современных технических возможностей обнаружения» [51, с. 151].

П. Уэст, автор книги «Введение в суперсимметрию и супергравитацию» пишет: «После стольких лет усилий, направленных на создание единой теории, проявление суперсимметрии в экспериментах весьма желательно» [167, с. 10].

3. Для объяснения длительного отсутствия экспериментальных подтверждений выводов теории суперструн ее сторонники сформулировали своеобразную методологическую установку об эволюции соотношения теоретических и экспериментальных исследований. Дэвид Гросс дает следующее образное пояснение сложившейся ситуации: «Обычно, когда мы карабкались на гору природы, прокладыванием пути занимались экспериментаторы. Мы, ленивые теоретики, плелись где-то сзади. Время от времени они сбрасывали вниз экспериментальный камень, который ricoшетил от наших голов. Со временем мы находили объяснение и могли продолжить наш путь, который нам перекрыли экспериментаторы. Догнав наших друзей, мы объясняли им, с чем они столкнулись, и как они туда попали. Таков был старый и легкий (по крайней мере, для теоретиков) способ восхождения на горы. Нам всем хотелось бы, чтобы эти дни снова вернулись. Но теперь мы, теоретики, должны возглавить колонну. Это будет гораздо более одинокий путь» (цит. по [51, с. 145]).

Б. Грин продолжил это образное повествование: «Теоретики, занимающиеся струнами, не хотят совершать одиночное восхождение на са-

мые высокие вершины природы; они предпочли бы разделить трудности и радости со своими коллегами-экспериментаторами. Сегодняшняя ситуация вызвана отставанием технологии, историческим разрывом: теоретические канаты и крючья для последнего штурма вершины готовы (по крайней мере частично), а экспериментальные еще не существуют. Но это вовсе «не означает», что теория струн окончательно рассталась с экспериментом. Напротив, теоретики полны надежд «спихнуть вниз теоретический камень» с вершин ультравысокой энергии на головы экспериментаторов, работающих в базовом лагере. Это основная цель современных исследований в теории струн. Пока не удалось оторвать камня от вершины, чтобы запустить его вниз...» [51, с. 145].

4. Одной из задач современной физики является теоретическое объяснение соотношения констант наблюдаемых видов взаимодействий. Так, С. Вайнберг пишет: «Надеюсь, что теория струн станет реальной основой окончательной теории, и что теория струн будет обладать достаточно предсказательной силой, чтобы определить значения всех констант природы, включая и космологическую постоянную. Поживем — увидим» [18, с. 179]. При этом он отмечает: «Получено несколько вдохновляющих результатов. Например, оказалось, что в рамках теории струн естественно получается равенство констант взаимодействия сильных и электротяжелых взаимодействий при очень больших энергиях, определяемых через натяжение струны, хотя и нет отдельной симметрии, объединяющей эти взаимодействия. Тем не менее, до сих пор не удается получить детальные количественные предсказания, позволяющие осуществить решающую проверку теории струн» [18, с. 170].

Относительно этих утверждений Р. Пенроуз пишет следующее: «В этих идеях, претендующих на поддержку суперсимметрии наблюдениями, заключаются гигантские экстраполяции. Одной из таких является допущение, что не возникает ничего существенно нового в огромной щели энергий (или температур) между 10^{28} К и приблизительно 10^{14} К, что доступно для современных ускорителей. Это само по себе представляется неразумной экстраполяцией, и я не понимаю, как можно рассматривать подобные соображения в качестве сколько-нибудь значимой дополнительной поддержки суперсимметрии» [127, с. 729].

5. Как пишет Пенроуз, «теория струн приводит к своеобразной теории Великого объединения. Она предполагает объединить все элементарные частицы в единую схему. Возникающие при этом группы симметрии оказываются гораздо более обширными, чем таковые в стандартной модели, однако, как и в других теориях Великого объединения, предполагается нарушение симметрии, приводящее к ее понижению до симметрий, имеющей более непосредственное отношение к стандартной модели, — хотя эта программа пока не выполнена в должной мере» [127, с. 756]. (Примечательно, что опять здесь неоднократно используется

термин «предполагается» и все завершается словами, что «программа не выполнена в должной мере».)

6. В теории струн имеется ряд неоднозначностей, связанных с выбором свойств дополнительных (шести скрытых, внутренних) размерностей в 10-мерном пространстве, используемом в теории струн. На эти скрытые размерности в теории суперструн налагается ряд довольно жестких требований. Как пишет Р. Пенроуз, «налагаемые «жесткие требования» привели к 6-многообразиям, получившим название «пространства Калаби—Яу». Эти пространства, представляющие значительный интерес с точки зрения чистой математики, изучались для этих целей Эуджению Калаби и Шин-Ту Яу. Это пример так называемых *многообразий Келера*, обладающих одновременно вещественной римановой метрикой и комплексной структурой (так что их можно считать комплексными 3-многообразиями), и эти две структуры совместимы в том смысле, что метрическая связность сохраняет комплексную структуру, откуда следует, что они являются также *симплектическими* многообразиями. Пространства Калаби—Яу обладают дополнительными свойствами, которые считаются существенными для струиной модели: они обладают метрикой с нулевым тензором Риччи и наделены *спинорными полями*, постоянными по отношению к метрической связности» [127, с. 756].

Далее Пенроуз пишет: «Как обстоит дело с проблемой однозначности? К сожалению, существуют десятки тысяч классов качественно различных возможных вариантов для пространств Калаби—Яу, так что описанная схема далека от однозначности. Фактически в рамках заданного класса пространства Калаби—Яу существует бесконечно много вариантов, отличающихся друг от друга значениями некоторых параметров, именуемых модулями».

«Существуют, однако, и другие источники неоднозначности, которые поначалу оставляют впечатление даже более серьезных затруднений, нежели неоднозначность, связанная с пространствами Калаби—Яу. Оказывается, что существует целых пять совершенно различных возможных схем связи, устанавливаемых суперсимметрией между «бозонными» и «фермионными» модами колебаний струны. Соответственно имеется пять различных вариантов теории струн, получивших названия: теория струн типа *I*, теория струн типа *IIA*, теория струн типа *IIB*, теория гетеродических струн $O(32)$ и теория гетеротических струн $E_8 \times E_8$. (...) Такое размножение струиных моделей вынудило многих теоретиков усомниться в своей способности продолжать заниматься этим дальше» [127, с. 757].

Чтобы у читателя не создалось впечатления, что здесь цитируются лишь критики теории струн, приведем также высказывание ее горячего сторонника Б. Грипа: «Проблема состоит в том, что в настоящее время

никто не знает, как определить из уравнений теории струн, какое из многообразий Калаби—Яу определяет вид дополнительных пространственных измерений. Если бы мы смогли найти принцип, который позволяет выбрать одно из многообразий Калаби—Яу из огромного числа возможных вариантов, тогда действительно, камень с вершины загромыхал бы по склону в сторону лагеря экспериментаторов» [51, с. 147].

Вайнберг пишет еще более пессимистично: «Дела обстоят еще хуже. Даже если бы мы знали, как математически обращаться с теориями струн, и смогли бы найти какую-то одну из этих теорий, соответствующую наблюдаемым в природе явлениям, все равно у нас нет сегодня критерия того, почему *именно эта* теория струн применима к реальному миру. Я снова повторяю — цель физики на ее самом фундаментальном уровне заключается не только в том, чтобы описать мир, но и объяснить, почему он таков, каков он есть» [127, с. 171].

7. К еще одному достоинству теории суперструн относят якобы объединение на ее основе квантовой теории и общей теории относительности. Автор не согласен с такими утверждениями. Этот вопрос будет более подробно рассмотрен в гл. 11, посвященной обсуждению попыток перехода к единой теории (в рамках монистической парадигмы) со стороны геометрического миропонимания.

8. Теория суперструн опирается на достаточно мощные математические методы. С одной стороны, это может рассматриваться как достоинство данного направления исследований; однако, с другой стороны, это является и минусом теории. Сторонники данной программы все более и более погружаются в исследования сугубо математического характера, фактически уходя из сферы физики. Эту мысль Р. Пенроуз выразил следующим образом: «В настоящее время супергруппы представляют вполне респектабельную область чистой математики. Более того, идеи суперсимметрии могут применяться непосредственно в математических рассуждениях для получения результатов, которые нелегко было бы получить другим способом. Это, однако, отнюдь не означает, что суперсимметрия в том виде, в каком она применяется, имеет какое-то непосредственное отношение к физике» [127, с. 728].

Все это в совокупности позволяет усомниться в том, что в лице теории суперструн мы имеем дело с достаточно сложившейся физической теорией, а не с некой абстрактной математической конструкцией, от которой пытаются перейти к физике посредством множества гипотез и предположений.

Глэшоу как-то даже заявил: «Теория струн столь амбициозна, что она может быть либо целиком истинна, либо целиком ложна. Единственная проблема состоит в том, что ее математика настолько нова и сложна,

что неизвестно, сколько десятилетий потребуется на ее окончательную разработку» [51, с. 144].

Подобная ситуация уже возникала в теоретической физике 60-х – 70-х гг., когда физики углубились в построение аксиоматики квантовой теории поля. Тогда казалось, что все проблемы в квантовой теории поля имеют сугубо математический характер, — стоит только как следует разобраться в свойствах гильбертовых пространств и обобщенных функций, так главные проблемы квантовой теории поля удастся преодолеть. Автор был свидетелем энтузиазма и огромных надежд физиков-теоретиков, разрабатывавших аксиоматику квантовой теории. Тогда, как и ныне, делалось множество заявлений о том, что стоит приложить лишь еще немного усилий и проблемы будут решены. В итоге значительная часть талантливых физиков-теоретиков дружными рядами ушла из физики в чистую математику. Прошло время, и ныне история повторяется.

9. Имеется ряд других критических замечаний к программе теории суперструн как физического, так и математического плана. Причем они относятся как к работам первой «суперструнной революции», так и второй. Это же относится и к работам в области бран (супербран, n-бран или D-бран), а также к надеждам на М-теорию, еще менее оформленную.

10. При рассмотрении работ данного направления бросаются в глаза многочисленные высказывания типа: ожидается, предполагается, имеются надежды и т. д. В связи с этим невольно вспоминается другая крайность, проявившаяся в работах К. Гаусса, который не публиковал ряд своих фундаментальных работ, поскольку они не удовлетворяли критерию или его «краеугольному камню»: *«Nil actum gerutans si quid superesset agendum»*. («Пока не все сделано, считай, что ничего не сделано» (лат.).)

7.3.3. Метафизический анализ программы суперструн

Изложенные соображения о характере полученных достижений в области теории суперструн заставляют насторожиться и обратиться к метафизическому анализу оснований данной программы. Лишний раз напомним, что метафизика не предназначена для доказательств, чем занимаются математика и физика, — ее назначение состоит в осмыслении полученных результатов и в оценке наиболее подходящих путей исследований. Метафизический анализ позволяет выдвинуть три довода против программы суперструн.

1. Первый довод связан с тем, что теория суперструн относится к той же дуалистической парадигме, что и квантовая теория поля. Ряд физиков-теоретиков считает этот факт одним из существенных

достоинств теории суперструн, продолжающей уже сложившиеся теоретико-полевые традиции. Считают, что удастся преодолеть трудности, возникшие на ее пути. Это неизменно подчеркивается ее сторонниками. Так, Б. Грин пишет: «Коль скоро мы осознали, что Вселенной управляют квантовомеханические принципы, наши теории должны являться квантовомеханическими с самого начала» [51, с. 245]. Аналогично пишет Глэшоу: «Мы, исследователи, работы которых не связаны с теорией струн, не добились сколько-нибудь существенного прогресса за последнее десятилетие. Поэтому аргумент, что теория струн является единственным игроком на этом поле, имеет под собой очень серьезное основание. Есть вопросы, на которые в рамках традиционной квантовой теории поля нельзя получить ответы. Это должно быть ясно. Ответы на них может дать кто-то другой, и единственный «другой», которого я знаю — это теория струн» (цит. по [51, с. 145]).

Теория суперструн, как и теория поля, имеет дуалистический характер, поскольку в ней новая обобщенная категория суперструн для своего определения нуждается в использовании второй физической категории — так или иначе заданного пространственно-временного многообразия. Грин неоднократно подчеркивает, что «современная формулировка теории струн заранее предполагает существование пространства и времени, в котором струны (и другие объекты М-теории) движутся и вибрируют» [51, с. 244].

Отсюда следует, что вследствие своего дуалистического характера теория суперструн не может претендовать на «теорию всего» (или на «окончательную теорию»).

В этой связи законно поставить вопрос: верность принятой (дуалистической) парадигме является достоинством или недостатком теории струн? Если эта теория претендует на решительное изменение представлений о физическом мироздании, то почему это не должно связываться с изменением парадигмы? Ведь до сих пор существенные изменения в физике типа открытия общей теории относительности или квантовой теории знаменовали собой переход к новой метафизической парадигме.

2. Второй довод связан с соотношением дуалистических теоретико-полевой и геометрической парадигм. Сторонники теории струн утверждают, что теория струн позволяет решить проблему совмещения принципов квантовой теории и общей теории относительности или, иными словами, проблему квантования гравитации. Автор, как и Р. Пенроуз, решительно не согласен с такой точкой зрения. Нам представляется, что данная задача может быть решена лишь в рамках монистической парадигмы, в которой новая обобщенная категория будет содержать в себе истоки категорий, на которые опираются как теоретико-полевая, так и геометрическая парадигма.

Критические замечания относительно претензий на объединение в теории суперструн гравитации и квантовой теории более подробно рассмотрены в гл. 11, где обсуждается теория супергравитации.

3. Третий, основной, метафизический довод против программы суперструн основан на наличии третьего дуалистического миропонимания — реляционного, рассмотренного в четвертой и пятой частях этой книги. Как там указано, эта дуалистическая парадигма оказалась на обочине магистральных путей развития физики XX в., однако она имеет не менее глубокие корни, нежели теоретико-полевая парадигма. Реляционная парадигма тесно связана с концепцией дальнодействия, альтернативной концепции близкодействия, лежащей в основе теоретико-полевого подхода. Забегая вперед, отметим, что концепция дальнодействия развивалась Г. Лейбницем, К. Гауссом, Э. Махом, а в XX в. А. Д. Фоккером, Р. Фейнманом и рядом других физиков.

В наиболее широко известном варианте реляционного миропонимания, именуемом теорией прямого межчастичного взаимодействия, а также в теории, развивающейся в 5-й части книги, вообще отсутствуют поля переносчиков взаимодействий. Взаимодействия между частицами описываются непосредственно через их характеристики, точнее, через отношения между ними. А если имеются варианты теории, способные описать взаимодействия между частицами без промежуточных бозонных полей, то спрашивается: зачем в основу теории класть требование симметрии (суперсимметрии) между фермионными (полями частиц) и бозонными полями? С позиций реляционного подхода основания программы суперсимметричных теорий вообще и теории суперструн, в частности, повисают в воздухе. В реляционной теории имеются иные каналы связи спинорных и бозонных величин, никак не связанные с условием суперсимметрии.

Как нам представляется, введение струн было обусловлено двумя главными обстоятельствами: во-первых, желанием избавиться от расходностей в теории и, во-вторых, необходимостью ввести новые степени свободы для описания различных видов физических взаимодействий, что диктует способы введения множества зарядов и других характеристик элементарных частиц. В теории струн это делается с помощью колебательных мод суперструны. Однако этих целей можно достичь и в рамках других парадигм. В геометрической парадигме это делается через дополнительные компоненты импульсов частиц в многомерном пространстве и различия ролей отдельных размерностей. Значительные новые возможности открываются в рамках реляционного подхода, точнее, — в теории бинарных систем комплексных отношений ранга (6,6), рассмотренной в пятой части книги. Там показано, что без предположения о наличии готового пространства-времени вводится 3×3 -матрица

комплексных чисел, из которой предлагается получать известные заряды элементарных частиц.

В связи с названным третьим доводом следует упомянуть отношение Р. Фейнмана к теории струн. Как известно, Фейнман был сторонником реляционной парадигмы. Как пишет Б. Грин, «Ричард Фейнман незадолго до своей смерти дал ясно понять, что он не верит в то, что теория струн является единственным средством для решения проблем, в частности, катастрофических бесконечностей, препятствующих гармоничному объединению гравитации и квантовой механики: „По моим ощущениям — хотя я могу ошибаться — существует не один способ решения этой задачи. Я не думаю, что есть только один способ, которым мы можем избавиться от бесконечностей. Тот факт, что теория позволяет избавиться от бесконечностей, не является для меня достаточным основанием, чтобы поверить в ее уникальность“» [51, с. 144].

С позиций реляционного миропонимания становятся понятными и вполне обоснованными критические высказывания ряда авторов, в частности уже цитированного Р. Пенроуза, считающего, что теория струн «до сих пор не достигла, в физическом отношении, абсолютно ничего, и она имеет мало шансов сыграть сколько-нибудь существенную роль в физике будущего».

Сомнения в применимости теории суперструн в физике высказывали даже непосредственные ее исследователи. Так П. Уэст пишет: «До настоящего времени нет надежных доказательств того, что суперсимметрия реализуется в природе. Нет также причин, вынуждающих нас верить, что суперсимметрия необходима для решения какого-либо из парадоксов современных физических теорий» [167, с. 13].

Имеются и более резкие высказывания по теории суперструн. Б. Грин упоминает о том, что Глэшоу «даже задавался вопросом, должны ли специалисты по теории струн получать зарплату от физических факультетов, и позволительно ли им совращать умы впечатительных студентов, предупреждая, что теория струн подрывает основы науки, во многом так, как это делала теология в средние века» [51, с. 144].

7.3.4. Категория пространства-времени в теории струн

Следует особо остановиться на вопросе о категории пространства-времени в теории струн. Этому вопросу в книге Грина «Элегантная Вселенная» посвящен специальный раздел с характерным названием «Что есть пространство и время на самом деле, и можем ли мы без них обойтись?». Выделим несколько принципиально важных аспектов, затронутых автором.

1. Прежде всего, следует обратить внимание на то, что сторонники суперструнной программы отдают себе отчет в том, что используемый в теории поля и струн субстанциальный подход к природе пространства-времени содержит в себе существенную проблему для физики. Грин пишет: «Однако можно спросить, является ли геометрическая модель пространства-времени, играющая центральную роль в общей теории относительности и теории струн, всего лишь удобной формулировкой для описания пространственных и временных отношений между различными событиями, или необходимо считать, что мы на самом деле погружены во *что-то*, когда говорим о нашем нахождении внутри ткани пространства-времени?» [51, с. 243]. Далее он рассуждает о том, что собой представляет эта ткань, и могут ли струны играть роль нитей, образующих пространство-время, аналогично тому, как из обычных нитей ткется полотно ткани.

2. Грин и ряд других авторов признают необходимость и важность отказа от априорного задания пространственно-временного фона и вывода его из каких-то физических соображений. Грин пишет: «Мы не должны ограничивать теорию, заставляя ее действовать в уже существующих рамках пространства-времени. Вместо этого, так же, как мы должны позволить нашей художнице работать с чистого листа, мы должны позволить теории струн создавать ее собственную пространственно-временную арену, начиная с конфигурации, в которой пространство и время отсутствует» [51, с. 244].

3. Признается, что решение этого вопроса представляет собой чрезвычайно трудную задачу. Действительно, говоря о том, что теория струн должна «создавать собственную пространственно-временную арену», трудно понять, как категория струны, бессмысленная без готового пространства-времени, может его создать? По этому поводу Грин пишет: «Представление такого бесструктурного исходного состояния, в котором нет понятий пространства и времени в обычном смысле, требует предельного напряжения ума у большинства людей (во всяком случае у меня)» [51, с. 243]. Видимо, Грину, говоря о данной задаче, не нужно было упоминать понятие струны, а иметь в виду использовании каких-то иных исходных физических факторов.

4. Обратим внимание на тот весьма примечательный факт, что в этом разделе Грин фактически упоминает наличие реляционного подхода, развивавшегося Г. Лейбницем и Э. Махом, и даже соглашается с тем, что «концепция Лейбница, развитая австрийским физиком Эрнстом Махом, гораздо ближе к современной картине» [51, с. 243]. Позволим себе уточнить, что реляционная концепция Лейбница и Маха действительно ближе реалистической картине мира, однако никак не доминирующей в современной физике парадигме, на которую опирается теория поля и, в частности, теория струн.

Особенно примечательной является фраза: «Как в шутке Стивена Райта о фотографе, одержимом идеей получить снимок горизонта с близкого расстояния, мы вынуждены бороться со столкновением парадигм, когда пытаемся представить себе Вселенную, которая *есть*, но в которой каким-то образом не используются понятия пространства и времени. Тем не менее, вероятно, что нам придется привыкнуть к таким понятиям и осознать их смысл еще до того, как мы сможем полностью оценить теорию струн» [51, с. 244]. После таких замечаний логично было бы рассмотреть реляционный подход Лейбница, Маха и других авторов, однако этого Грин не делает, а продолжает вести разговор лишь вокруг теории струн. Этот пробел фактически восполняется в четвертой и пятой частях данной книги.

5. Грин упоминает об одной из программ, нацеленных на решение задачи вывода пространства-времени: «Некоторое представление о мире без пространства и времени может дать нечто, известное под названием *нуль-бран*. (...) Исследования с этими нуль-бранами показывают, что обычная геометрия заменяется новым аппаратом, известным под названием *некоммутативная геометрия* — областью математики, основы которой были разработаны французским математиком Аланом Конном» [51, с. 244]. Однако, видимо, и это направление исследований находится в предварительной фазе.

6. Еще об одной идее избавиться в теории струн от классического пространства-времени пишет Р. Пенроуз: «Одна из версий «струнной философии», о которой мне довелось слышать, состоит в том, что мы должны рассматривать физику как «реальную» *двумерную* квантовую теорию поля, при этом геометрическое понятие 10-мерного пространства-времени оказывается вторичным по отношению к более примитивной «реальности» самого двумерного струнного мирового листа. Все следует описывать в терминах «воздействий струн», которые надлежит рассматривать просто как функции от двух координат, определенные на мировом листе. Эти воздействия «ощущают» десять пространственно-временных измерений, однако все выглядит как некоторое „поле на 2-мерном листе“» [127, с. 744].

Однако данная программа имеет ряд дефектов. Во-первых, подобная теория по-прежнему является дуалистической, поскольку в ней фактически сохраняется категория пространства-времени, лишь с несколько иными свойствами. Во-вторых, в этой программе возникает ряд проблем, в частности, обоснования выделенности именно четырех классических пространственно-временных измерений. Можно утверждать, что в этой программе фактически делается попытка заменить одни проблемы на иные, не более.

Часть III

Геометрическое миропонимание

Идеологические предпосылки геометрического миропонимания были заложены в трудах Р. Декарта и И. Канта, а физические (экспериментальные) — сложились после опытов Г. Галилея по падению тел с Пизанской башни. Однако разработке содержательной теории, соответствующей этому миропониманию, препятствовали укоренившиеся представления о свойствах пространства и времени, согласно которым пространство считалось однородным (одинаковым во всех точках) и изотропным (одинаковым по всем направлениям); время также полагалось однородным. Это представлялось настолько очевидным, что не виделось даже предмета обсуждений. А как же могло быть иначе?! Оставалось только принимать пространство и время априорно заданными именно с такими свойствами, что и проявилось в философии Канта. Понадобились века (если не тысячелетия), чтобы осознать возможность существования более общих пространственно-временных многообразий, позволяющих включить в себя категорию полей переносчиков взаимодействий.

Геометрическое миропонимание опирается на иную пару категорий, по сравнению с теоретико-полевым миропониманием: на обобщенную категорию искривленного пространства-времени, включающую в себя прежние категории пространства-времени (П-В) и полей переносчиков взаимодействий (П), и на отдельную категорию частиц (Ч), которая вкладывается в искривленное пространство-время. Геометрическое миропонимание соответствует взгляду на куб физической реальности «сзади» через грань, образованную осями категорий пространства-времени (П-В) и полей (П) (см. рис. III.1).

Геометрический взгляд на мир существенно меняет характер теории, так как, во-первых, при таком подходе расщепляется общая (в рамках теоретико-полевого миропонимания) категория поля амплитуды вероятности на геометризуемые бозонные поля (переносчики взаимодействий) и на фермионные поля (частицы), которые вкладываются в геометрию извне. Во-вторых, радикально меняются приоритеты и весь круг рассматриваемых проблем. Главными становятся задачи выделения из геометрических понятий (из метрики, связностей, кривизны и т. д.)

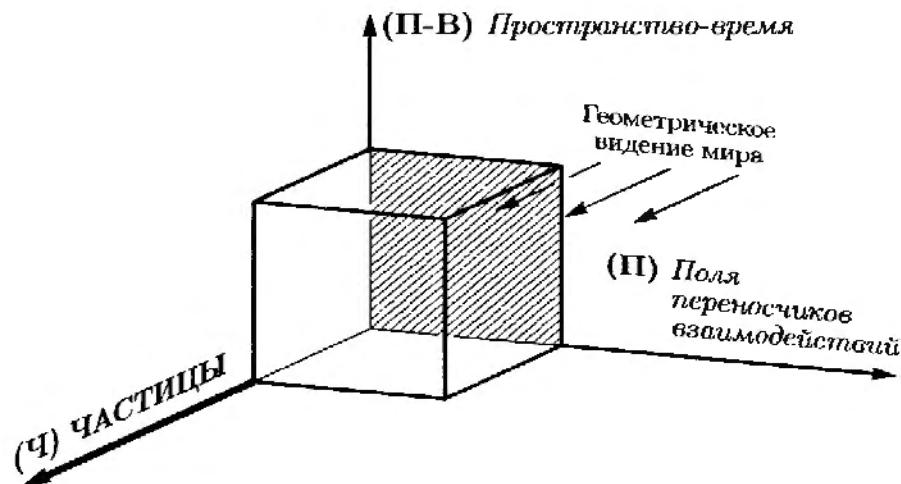


Рис. III.1. Геометрическое миропонимание физической реальности

выражений, соответствующих характеристикам физических (бозонных) полей. В-третьих, многие достижения квантовой теории (в теоретико-полевом миропонимании) оказались трудно согласуемыми с геометрией, — в течение XX в. так и не нашла своего решения проблема совмещения принципов общей теории относительности и квантовой теории.

От Евклида до Эйнштейна

Истоки идеи об искривленности пространства (точнее, пространства-времени) также были заложены еще в античности. Все началось с известной истории с пятым постулатом Евклида, на первый взгляд, не имеющей никакого отношения к физике и тем более к описанию полей переносчиков физических взаимодействий. Исходным моментом стал анализ логических основ евклидовой геометрии, представлявшейся единственной возможной, априорно заданной, но в итоге возникли ее альтернативные варианты.

В процессе формирования предпосылок общей теории относительности ярко проявилась взаимная обусловленность всех трех ключевых факторов теории: математического аппарата (логической стороны), физического (точнее, философского) осмысления и эксперимента (запросов практики и опытного подтверждения). В данном случае ведущим оказался логический (рациональный) фактор, затем последовало философское осмысление и только потом вступил в силу экспериментальный фактор. В таком порядке и изложен материал данной главы. После анализа истории открытия неевклидовых геометрий рассмотрены первые идеи об их возможном физическом смысле. Здесь ключевую роль сыграли работы В. Клиффорда, Э. Маха и А. Пуанкаре. Наконец, в заключительном параграфе этой главы достижения математики (геометрии) и ее осмысление связываются с последним фактором — опытом, позволившим превратить геометрию, как часть математики, в раздел теоретической физики.

Любопытно также отметить, что созданию эйнштейновской общей теории относительности предшествовала история, развернувшаяся вокруг *трех вариантов классических геометрий* (с симметриями). Впоследствии эти варианты оказались в основе трех однородных и изотропных космологических моделей Фридмана, следующих из общей теории относительности.

8.1. Пятый постулат Евклида

В начале III в. до н. э. Евклидом (ок. 356 г. — ок. 300 г. до н. э.) было составлено обширное сочинение в 13 томах, известное под названием «Начал», которое по глубине и широте охвата, по логической стройности не имело себе равных в истории математики. Утверждают, что «Начала» были некогда самой распространенной книгой после Библии. В этом труде в соответствии с логической схемой рассуждений Аристотеля был изложен основной материал античной геометрии, составлявший практически до XIX в. основу геометрических знаний. Все содержание геометрии Евклид изложил аксиоматически как цепь теорем, выводимых из небольшого числа основных (принимаемых без доказательств) положений. Как уже отмечалось, в современных аксиоматиках геометрий, как правило, содержится более двух десятков аксиом. Примерно такое же число основных положений (гипотез, как их называл Платон) содержится и в аксиоматике Евклида, различавшего аксиомы, определения и постулаты. К аксиомам Евклид отнес исходные положения, общие как для геометрии, так и для арифметики¹⁾:

1. Равные одному и тому же равны между собой.
2. И если к равным прибавляют равные, то и целые будут равны.
3. И если от равных отнимаются равные, то остатки будут равны.
4. И если к неравным прибавляются равные, то целые будут не равны.
5. И удвоенные одного и того же равны между собой.
6. И половины одного и того же равны между собой.
7. И совмещающиеся друг с другом равны между собой.
8. И целое больше части.
9. И две прямые не содержат пространства.

Определениями названы геометрические положения, характеризующие исходные понятия. В качестве примера приведем несколько из них:

- 1) Точка есть то, что не имеет частей.
- 2) Линия же — длина без ширины.
- 3) Концы же линии — точки.
- 4) Прямая линия есть та, которая равно расположена относительно точки на ней.
- 5) Поверхность есть то, что имеет только длину и ширину.
- 6) Концы же поверхности — линии.

Легко видеть, что как в аксиомах, так и в определениях, ничего не говорится о существовании понятий, о которых идет речь. Эта задача

¹⁾ Приводимые аксиомы и определения взяты из книги П. П. Гайденко [40, с. 143–144].

решается в третьей группе исходных положений, названных Евклидом постулатами:

1. Чтобы от каждой точки к каждой точке можно было провести прямую линию.
2. И чтобы ограниченную прямую можно было непрерывно продолжить до прямой.
3. И чтобы из любого центра любым радиусом можно было описать окружность.
4. И чтобы все прямые углы были друг другу равны.
5. И чтобы всякий раз, как прямая, пересекая две прямые, образует с ними внутренние односторонние углы, составляющие вместе меньше двух прямых, эти прямые при неограниченном продолжении пересекались с той стороны, с которой эти углы составляют меньше двух прямых» [99, с. 23].

Уже беглого взгляда достаточно, чтобы заметить, что по уровню наглядности содержание пятого постулата резко отличается от содержания первых четырех. Многим математикам на протяжении более чем двух тысячелетий представлялось, что этот постулат на самом деле является теоремой, т. е. логическим путем может быть доказан на основе остальных аксиом. Существует мнение, что и сам Евклид испытывал колебания, относя пятое утверждение в разряд постулатов. Иначе, чем объяснить, что материал в «Началах» состоит как бы из двух частей: теорем, которые доказываются без использования пятого постулата (абсолютная геометрия), и ряда теорем, опирающихся на пятый постулат (собственно евклидова геометрия)? Видимо, сам Евклид пошел на этот шаг, потерпев неудачу в попытках доказательства пятого постулата.

Так или иначе, но в течение двух тысячелетий было предпринято множество попыток доказать пятый постулат. Из истории математики известно, что различные варианты доказательств предлагали [99, с. 10]: Посидоний (I в. до н. э.), Птолемей (II в. н. э.), Прокл (410–485), Насирэлдин (1201–1274), Валлис (1616–1703), Саккери (1667–1733), Ламберт (1728–1777), Лежандр (1752–1833), Фаркаш Бояи (1775–1856) и многие другие. При внимательном рассмотрении предложенных доказательств выяснялось, что либо в них допускались логические ошибки, либо по ходу дела предполагалось как очевидное нечто такое, что было равносильно утверждению пятого постулата. Например, вышеприведенной его формулировке эквивалентны следующие утверждения (см. рис. 8.1):

«Через точку C , лежащую вне данной прямой AB , проходит только одна параллельная ей прямая», т. е. прямая, лежащая в одной плоскости с данной прямой и не пересекающая ее.

«Сумма углов любого плоского треугольника равна двум прямым углам, или 180° » и т. д. Можно привести большое число подобных равносильных утверждений.

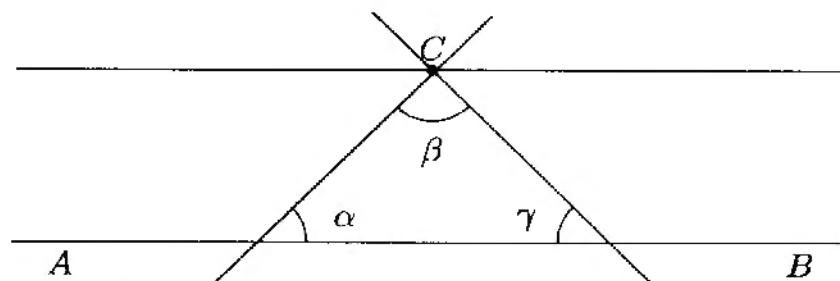


Рис. 8.1. Евклидова геометрия

В истории человечества насчитывается не так много проблем, на решение которых было затрачено столько же усилий, сколько на попытки доказать пятый постулат Евклида. Возможно, сравняться с этим могут лишь поиски в средние века «философского камня» или бесчисленные попытки создания «вечного двигателя». Подчас эти усилия принимали драматический характер. В качестве примера можно привести письмо Фаркаша Бояи сыну Яноши, унаследовавшему от отца занятие этой проблемой: «Ты не должен пытаться одолеть теорию параллельных линий; я знаю этот путь, я проделал его до конца, я прожил эту бесконечную ночь, и весь свет, всю радость моей жизни я там похоронил. Молю тебя, оставь в покое учение о параллельных линиях; ты должен страшиться его, как чувственных увлечений; оно лишит тебя здоровья, досуга, покоя, оно погубит счастье твоей жизни. Этот глубокий, бездонный мрак может поглотить тысячу таких гигантов, как Ньютона; никогда на земле не будет света, и никогда бедный род человеческий не достигнет совершенной истины, не достигнет ее в геометрии; это ужасная вечная рана в моей душе; да хранит тебя Бог от этого увлечения, которое так сильно овладело тобой. Оно лишит тебя радости не только в геометрии, но и во всей земной жизни. Я готов был сделаться мучеником этой истины, чтобы только подарить человечеству геометрию, очищенную от этого пятна; я проделал гигантскую, тяжелейшую работу; я достиг гораздо большего, чем то, что было получено до меня, но совершенного удовлетворения я не получил.

Учись на моем примере; из-за того, что я хотел постигнуть теорию параллельных линий, я остался безвестным. Это отняло у меня всю мою кровь, все мое время. Здесь зарыт корень всех моих последующих ошибок. Если бы я мог открыть загадку параллельных линий, пусть об этом никто бы не узнал, я стал бы ангелом...

Непостижимо, что в геометрии существует эта непобежденная темнота, этот вечный мрак, туча, пятно на девственной, нетронутой истине... Дальше геркулесовы столпы; ни шагу дальше, или ты погибнешь!» [99, с. 20].

Несомненно, проблема параллельных линий имеет метафизический характер.

8.2. Неевклидова геометрия Лобачевского

Решение проблемы, стоявшей перед человечеством более двух тысячелетий, выход за «геркулесова столпы», удалось найти лишь в первой трети XIX в. Этот важный шаг в истории мысли был связан с именами Николая Ивановича Лобачевского, Яноша Бояи и Карла Гаусса.

При некотором различии использованных методик, глубины и объема разработки проблемы суть сделанного открытия была одна, да и ход рассуждений был близким. Ставился вопрос: что будет, если отказаться от пятого постулата, т. е. предположить противное, — пусть через одну точку C , лежащую вне данной прямой AB , проходит не одна, а две (а следовательно, и бесконечно много) параллельных ей прямых? Дальше задача состояла в построении геометрии с новой аксиомой. Расчет был на то, что если пятый постулат представлял собой теорему, то в геометрии с измененным утверждением рано или поздно должно встретиться противоречие, что и будет означать ложность сделанного допущения. Это и было бы доказательством пятого постулата.

Однако, развивая такую геометрию, авторы не только не обнаружили каких-либо противоречий, но, наоборот, довольно быстро убедились, что перед ними разворачивается стройная новая геометрия с рядом интересных своеобразных черт. Оказалось, что в новой геометрии сумма углов треугольников должна быть меньше 180° ; более того, эта величина существенно зависит от линейных размеров треугольника. В теории возникает некий параметр с размерностью длины и геометрические свойства систем зависят от отношения к нему их размеров, что приводит, в частности, к отсутствию подобных фигур. В очень малых областях (по сравнению с этим параметром) новая геометрия практически совпадает с геометрией Евклида, но в больших — они существенно отличаются. Так, например, треугольник достаточно больших размеров может иметь сколь угодно малое значение суммы трех углов. Лобачевский назвал свою геометрию «воображаемой» (или «пангеометрией»); «звездной» или «астральной», назвал ее Швейкарт. Но дело не в названии, а в ее отличии от геометрии Евклида.

Важно отметить, что Лобачевский и Гаусс не ограничились математической стороной сделанного открытия. Они поставили вопрос об отношении новой геометрии к физической реальности, и пытались выяснить, какой геометрией описывается реальное пространство: евклидовой или новой? Они действовали по принципу — критерием истины является опыт, что в данном случае означало признание пространства самостоятельной физической (метафизической) категорией. Для решения этой задачи Гаусс измерял сумму углов треугольника, образованного тремя горными вершинами, а Лобачевский выбрал значительно больший треугольник — он предпринял астрономические измерения, используя два

положения Земли на орбите и далекую звезду, измерял параллаксы звезд. Однако ни измерения Гаусса, ни астрономические наблюдения Лобачевского не дали и, как нам теперь хорошо известно, не могли тогда дать ответ на поставленный вопрос.

В литературе неоднократно освещалась история и смысл сделанного ими открытия, поэтому ограничимся некоторыми замечаниями.

Во-первых, новая геометрия представляет собой классический пример открытия, сделанного именно тогда, когда для него созрели необходимые условия. Как правило, к созревшей идее приходит почти одновременно и независимо сразу несколько человек. Поразительно близки даты решения проблемы тремя названными математиками. Н. И. Лобачевский сделал свой знаменитый доклад «О началах геометрии» на заседании Ученого совета физико-математического факультета Казанского университета 23 февраля 1826 г. и опубликовал его в 1829 г. Я. Бояи после пяти лет работы напечатал свой труд в виде приложения («Аппендикс») к объемистому тому сочинений своего отца, изданному в 1832 г. Из сохранившейся переписки Гаусса известно, что он пришел к ряду положений новой геометрии также примерно в 20-е годы или чуть раньше. Но и это не все. К идеям неевклидовой геометрии пришел юрист по образованию профессор Ф. К. Швейкарт, преподававший право в Харьковском университете с 1812 по 1816 г. и в 1817 г. переехавший в Германию, где и обсуждал свои идеи с Гауссом. В 1824 г. подобные идеи в своем письме к Гауссу изложил племянник Швейкarta, тоже юрист Франц Тауринус. Можно назвать и другие имена: Вахтера, де Тилли [99, с. 39].

Во-вторых, при всем различии положений в обществе и стран, где было сделано столь великое открытие, этих ученых роднит одно — почти полное непонимание, даже враждебное отношение со стороны коллег и окружающего их общества. Известно, что занятие Лобачевского неевклидовой геометрией в России воспринималось в лучшем случае как болезненное чудачество, но была и оскорбительно невежественная статья в журнале «Сын отечества», были и многозначительные насмешки даже со стороны именитых коллег. От Лобачевского отвернулись даже ученики, а на его похоронах, когда принято говорить об усопшем только хорошее, не было сказано ни одного слова о главном в его жизни — об открытии первой неевклидовой геометрии.

Известно также, сколько страданий и горьких минут испытал Янош Бояи, пытаясь добиться понимания и признания со стороны коллег. Сбылись пророчества его отца, не встретив понимания, он надорвал свою психику и скончался в 1860 г. «Погребение его походило на ритуал забвения. Лишь три человека проводили останки к бесымянной общей могиле, а к записи в реформаторской церкви кто-то приписал „Его жизнь прошла безо всякой пользы“» [99, с. 109].

К. Гаусс, король математики первой половины XIX в., так и не решился публично заявить о своем открытии и в письме Бесселю 1829 г. признался: «Вероятно, я еще не скоро смогу обработать свои пространные исследования по этому вопросу, чтобы их можно было опубликовать. Возможно даже, что я не решусь на это во всю свою жизнь, потому что боюсь крика беготийцев, который поднимется, когда я выскажу свои взгляды целиком» [99, с. 64]. В другом месте, в письме Герлингу, Гаусс писал: «Я очень рад, что Вы имеете мужество высказаться так, как будто Вы признаете возможным, что наша теория параллельных линий, а следовательно, и вся наша геометрия ложны. Но осы, гнездо которых Вы разрушаете, подымутся над Вашей головой» [99, с. 63].

Судьбы выдающихся ученых весьма поучительны. Пример Яноши Бояи показывает, что ждет человека, решившегося идти до конца в попытках убедить всех в своей правоте. Другой пример преподал Н. И. Лобачевский, смело и открыто заявивший о сделанном открытии, не изменивший своей точки зрения, несмотря на неприятие открытия его окружением, но сумевший параллельно заниматься другими важными вопросами: он был ректором Казанского университета и много сделал для его развития, выполнил ряд исследований в других разделах математики, создал знаменитую библиотеку Казанского университета и т. д.

Классический пример житейского благородства является собой судьба крупнейшего математика Европы того времени К. Гаусса. Прекрасно осознавая всю глубину переворота в науке (не только в геометрии), произведенного открытием неевклидовой геометрии, и предвидя отношение своих коллег и современников как к самому открытию, так и к тому, кто осмелится выступить в его поддержку, он не опубликовал полученные результаты, но никогда не изменил своим научным идеям.

Несмотря на уверенность в своей правоте, Лобачевскому, Яношу Бояи и другим не удалось найти окончательного доказательства логической непротиворечивости построенной геометрии. Одно дело отсутствие противоречий в геометрических построениях, даже продвинутых достаточно далеко, их логическая стройность, но совершенно другое — доказательство, что этих противоречий не возникнет в новой теории вообще. Окончательное подтверждение непротиворечивости геометрии Лобачевского было дано лишь в 70-х гг. XIX в. итальянским геометром Эудженио Бельтрами и немецким математиком Феликсом Клейном. Основная идея доказательства состоит в том, чтобы свести неевклидову геометрию, впервые построенную как планиметрия, к геометрии на трехмерной гиперповерхности постоянной отрицательной кривизны (на трехмерном гиперболоиде) в четырехмерной геометрии Евклида. При этом нужно только заменить понятия прямых (кратчайших линий в мире Евклида) на геодезические линии (экстремальные кривые) на гиперповерхности. Тогда все утверждения относительно прямых в геомет-

рии Лобачевского перейдут в соответствующие утверждения о свойствах таких линий на гиперболоиде. Поскольку невозможно наглядно представить себе гиперболически искривленный трехмерный мир, это можно проиллюстрировать с помощью линий — гипербол на двухмерном гиперболоиде. Так, на рис. 8.2 пояснено обобщение пятого постулата Евклида. Через точку C , не лежащую на выбранной гиперболе AB , проходят две гиперболы, которые не пересекаются с AB . Следовательно, все другие гиперболы, обозначенные пунктирными линиями, не будут пересекать AB . На рис. 8.2 изображен треугольник, образованный пересечением трех гипербол. Легко понять, что сумма его углов $\alpha + \beta + \gamma < 180^\circ$.

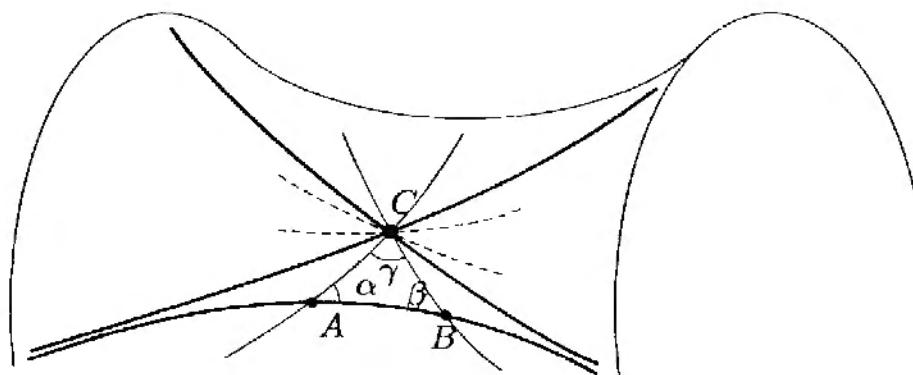


Рис. 8.2. Гиперболическая геометрия Лобачевского

По указанным причинам первую неевклидову геометрию (геометрию Лобачевского) в литературе часто называют гиперболической. Содержащийся в геометрии Лобачевского параметр размерности длины имеет геометрический смысл кривизны трехмерного гиперболоида. Теперь легко понять зависимость свойств геометрических фигур от их размера.

8.3. Неевклидова геометрия Римана

Следующий существенный шаг (даже несколько шагов) в цепи идей о геометрии пространства был сделан немецким математиком Бернгардом Риманом в 1854 г. Прежде всего, следует назвать открытый им второй вариант неевклидовой геометрии или «геометрии Римана» в узком смысле. Фактически эта геометрия основана на третьей логической возможности при формулировке пятого постулата и постулата в геометрии Лобачевского, которую не заметили ни Лобачевский, ни Гаусс, ни Бояи. Она состоит в предположении, что через точку C , не лежащую на заданной прямой (геодезической линии) AB , нельзя провести ни одной прямой (геодезической линии), не пересекающей линию AB . Этот вариант неевклидовой геометрии соответствует геометрии на

трехмерной гиперсфере в 4-мерном евклидовом пространстве. Самым существенным свойством такого трехмерного пространства является конечность его объема, так что, двигаясь все время в одном направлении, в конце концов можно вернуться в первоначальную точку. Вместо прямых линий евклидова пространства в сферической геометрии Римана выступают геодезические линии — дуги большого радиуса (см. рис. 8.3).

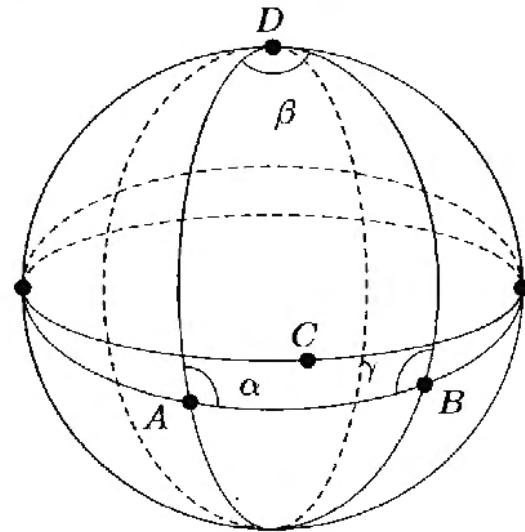


Рис. 8.3. Риманова сферическая геометрия

Из двумерной аналогии — геометрии на сфере — видно, что понятие параллельных линий, содержащееся в пятом постулате Евклида, в сферической геометрии вообще теряет всякий смысл, ибо любая дуга большого круга, проходящая через точку C , лежащую вне круговой линии AB , обязательно пересекает AB , притом в двух точках. Из рис. 8.3 также видно, что сумма углов треугольника ABD , образованного пересечением трех дуг большого круга, всегда больше 180° .

К этому следует также добавить, что в сферической геометрии Римана теряет силу первый постулат Евклида — аксиома о том, что через две точки можно провести лишь одну геодезическую (в евклидовой геометрии — прямую). Легко видеть, что через любые две противоположно расположенные точки на сфере, например через два полюса, можно провести бесконечно много различных дуг (окружностей) большого радиуса.

Любопытно, что открытие тогда еще совсем молодого математика нового поколения, пришедшего вслед за поколением Лобачевского и Я. Бояи, было сделано в связи с именем К. Гаусса. Для получения должности приват-доцента в Геттингенском университете Риман должен был прочитать пробную лекцию. Согласно установленным тогда правилам, он представил три темы на выбор коллегии факультета. Первые две темы соответствовали проблемам, обсуждавшимся в то

время математиками, а третья, не входившая в их число и менее подготовленная в тот момент Риманом, была посвящена основаниям геометрии. Риман не думал, что выбор падет на эту тему. Но, как писал впоследствии немецкий математик В. Вебер, «Гаусс не без умысла выбрал именно данную тему из трех, предложенных Риманом. Он сам признался, что ему страстно хотелось услышать, как такой молодой человек сумеет найти выход из столь трудной игры» [99, с. 148]. И Риман прочитал лекцию, изложенную затем в его знаменитом мемуаре «О гипотезах, лежащих в основании геометрии» [143]. Бытует мнение, что лекция была составлена Риманом в расчете на одного Гаусса. И он достиг своей цели. По окончании лекции Гаусс молча поднялся и тихо побрел к выходу. «Как рассказывал Вебер, „лекция превзошла все ожидания Гаусса“. Она привела его „в состояние наивысшего изумления“, и, возвращаясь с заседания факультета, он отзывался о ней с „высшей похвалой“ и „с редчайшим для него воодушевлением“» [99, с. 153].

Что же могло так воодушевить Гаусса? Дело было даже не столько в том, что Риман предложил второй вид неевклидовой геометрии, идя к ней совсем с другой стороны по сравнению с предшественниками. Судя по всему, Риман даже ничего не знал ни о Лобачевском, ни о Я. Бояи и, вероятно, лишь смутно представлял себе интерес Гаусса к данному предмету. Самое главное состоит в том, что он пошел значительно дальше. Риман сумел в своем исследовании объединить две чрезвычайно плодотворные идеи. Во-первых, он использовал развитый Гауссом математический аппарат описания геометрии двумерных кривых поверхностей и, во-вторых, ввел понятие многомерных многообразий («многократно протяженных величин»). Тогда, если поверхность — двукратно протяженная величина, то пространство — трехкратно протяженная, и только в этом разница. Все понятия и методы описания двумерных поверхностей непосредственно переносятся на трехмерные искривленные пространства. А среди этих понятий важнейшее — это метрика — квадратичная форма от разностей координат, характеризующая длину пути между двумя близкими точками в искривленном многообразии. Зная круг интересов Гаусса, можно только недоумевать, почему он сам не догадался сделать это до Римана.

Такой синтез идей позволил Риману далеко шагнуть в построении как частных случаев неевклидовых пространств, так и теории произвольно искривленных пространств. Но предоставим слово Эйнштейну, который писал: «Заслуга Римана в развитии идей о соотношении между геометрией и физикой двояка. Во-первых, он открыл сферическую (эллиптическую) геометрию, которая является антитезой гиперболической геометрии Лобачевского. Таким образом, он впервые указал на возможность геометрического пространства конечной протяженности. Эта идея сразу была воспринята и привела к постановке вопроса о конечности

физического пространства. Во-вторых, Риман имел смелость создать геометрии несравненно более общие, чем геометрия Евклида или неевклидовы геометрии в более узком смысле» [143, с. 17].

Но и это не все. Как писал Эйнштейн, «Риман пришел к смелой мысли, что геометрические отношения тел могут быть обусловлены физическими причинами, т. е. силами. Таким образом, путем чисто математических рассуждений он пришел к мысли о неотделимости геометрии от физики: эта мысль нашла свое фактическое осуществление семьдесят лет спустя в общей теории относительности, которая соединила в одно целое геометрию и теорию тяготения» (цит. по [27, с. 26]). Придя к таким соображениям, Риман еще не мог разглядеть, какие именно физические силы должны быть связаны с неевклидовостью геометрии. Интересно, что он уже размышлял о природе тяготения [144, с. 34], но не привлек для этого свои геометрические идеи.

В мемуаре Римана «О гипотезах, лежащих в основании геометрии» высказан ряд других интересных соображений о пространстве, которые не потеряли своего значения до наших дней и послужили истоком новых направлений мысли. К ним относится, в частности, положение, согласно которому «метрические отношения пространства в бесконечно малом не отвечают геометрическим допущениям», а также мысли о дискретности пространства, о физической подоплеке метрических отношений, о многомерных многообразиях и др.

8.4. Идея Клиффорда о всеобщей геометризации физики

Существенный вклад в развитие идеи о связи физических свойств материи со свойствами искривленного пространства сделал английский математик Вильям Клиффорд. Именно Клиффорду принадлежит первый перевод на английский язык уже упомянутого мемуара Римана. В вышедшей посмертно под редакцией К. Пирсона книге Клиффорда «Здравый смысл точных наук» (1885) [85] четко поставлен вопрос о том, в каком пространстве мы живем: в бесконечном евклидовом или в замкнутом (конечном) сферическом пространстве Римана? Им проанализированы необычные закономерности замкнутого мира и ему же принадлежит известный пример с ползающим по сфере жуком, иллюстрирующий свойства замкнутого мира.

Он, в частности, писал: «Спросим же себя, не можем ли мы подобным же образом рассматривать как изменения физического характера те действия, которые на самом деле обязаны своим происхождением изменениям в кривизне нашего пространства. Не окажется ли, что все или

искоторые из причин, которые мы называем физическими, свое начало ведут от геометрического строения нашего пространства». Он высказал предположение, что такими физическими причинами могут быть теплота, свет, электрическое поле. Заметим, что истинная физическая причина искривленности гравитация (как стало ясно после работ Эйнштейна) — им еще не названа. Однако высказана гипотеза о возможной связи электромагнитного поля и геометрии пространства, так что, по-видимому, именно Клиффорда следует считать родоначальником идеи геометризации электромагнитного поля.

В трудах В. Клиффорда качественно предвосхищены основные проявления закономерностей созданной значительно позже общей теории относительности. Он писал: «Вот три рода изменений кривизны в пространстве, которые мы должны признать лежащими в пределах возможного:

I. Пространство наше, быть может, действительно обладает кривизной, меняющейся при переходе от одной точки к другой, — кривизной, которую нам не удается определить или потому, что мы знакомы лишь с небольшой частью пространства, или потому, что мы смешиваем незначительные происходящие в нем изменения с переменами в условиях нашего физического существования, последние же мы не связываем с переменами в нашем положении. (...)

II. Наше пространство может быть действительно тождественно во всех своих частях (имеет одинаковую кривизну), но величина его кривизны может изменяться как целое во времени. В таком случае наша геометрия, основанная на тождественности пространства, сохранит свою силу для всех частей пространства, но перемены в кривизне могут произвести в пространстве ряд последовательных видимых изменений.

III. Мы можем мыслить наше пространство как имеющее повсюду приблизительно однородную кривизну, но легкие изменения кривизны могут существовать при переходе от одной точки к другой, в свою очередь изменяясь во времени. Эти изменения кривизны во времени могут произвести явления, которые мы не так уж неестественно приписываем физическим причинам, не зависящим от геометрии нашего пространства» [85, с. 46].

Как видно из приведенного отрывка, Клиффорд значительно более определенно, нежели Риман, ставил вопрос о возможном физическом проявлении искривленности пространства. Как оказалось впоследствии, все отмеченные им три типа изменения кривизны нашли естественное воплощение в общей теории относительности. Так, к первому типу относится, например, искривление пространства (и времени) вокруг гравитирующих тел, в частности вокруг Солнца и Земли. Именно этим искривлением объясняется ньютоновский закон всемирного тяготения. Второй тип по Клиффорду — изменение во времени пространственной

кривизны, одинаковой во всех точках, — нашел свою реализацию в космологических моделях Фридмана. Третий тип изменения кривизны в виде ряби на практически плоском фоне может быть сопоставлен с распространением гравитационных волн, экспериментальный поиск которых продолжался в течение последней трети XX в. Из воспоминаний современников Эйнштейна и сведений его биографов известно, что Эйнштейн был знаком с работами Клиффорда еще в бернский период своей жизни (1902–1909).

Из всего сказанного следует, что именно Клиффорда следует считать основателем геометрического видения мира, причем в его экстремально законченной форме, претендующей на монистическую парадигму. Он писал: «... изменение кривизны пространства — это то, что в действительности происходит при том явлении, которое мы называем движением материи, как весомой, так и эфира; что в физическом мире не имеет места ничего, кроме этого изменения, подчиняющегося (возможно) закону непрерывности» [84, с. 36]. Это не что иное, как выдвижение программы полной геометризации всей материи. Именно в русле идей Клиффорда работали американский физик-теоретик Джон Уилер и его школа, провозгласившие программу построения «массы без массы», «заряда без заряда» и т. д., т. е. получения всех характеристик материи из свойств «пустого» пространства (и времени).

Отметим, что В. Клиффорду принадлежит много известных результатов в математике. Так, для изучения групп движений в геометрии он применил кватернионы — следующее после комплексных чисел обобщение вещественных чисел. В математике и физике XX в. широко использовались так называемые алгебры Клиффорда. Напомним, что спиноры и их обобщения в пространственно-временных многообразиях произвольной размерности и сигнатуры вводятся с помощью алгебр Клиффорда.

8.5. Эрнст Мах и геометрия

Идеи неевклидовых геометрий даже в начале XX в. представлялись экзотическими и были малоизвестными в сообществе физиков. Господствовала уверенность в евклидовом характере геометрии реального мира и в незыблемости закономерностей ньютоновской механики. Для формирования геометрического миропонимания необходимо было развенчать эти укоренившиеся представления. Сложившуюся ситуацию можно было сравнить с преодолением догм античных взглядов и физики Аристотеля, осуществленном трудами Коперника, Кеплера, Галилея и других выдающихся естествоиспытателей XV—XVII вв., подготовивших почву для создания ньютоновской механики.

На этот раз понадобилось значительно меньше времени. Большую роль в решении этой задачи и в подготовке условий для создания общей теории относительности сыграл физик, естествоиспытатель и философ Эрнст Мах. Сам Эйнштейн отмечал, что «Мах ясно понимал слабые стороны классической механики и был недалек от того, чтобы прийти к общей теории относительности. И это за полвека до ее создания! Весьма вероятно, что Мах сумел бы создать общую теорию относительности, если бы в то время, когда он еще был молод духом, физиков волновал вопрос о том, как следует понимать скорость света» [208, с. 29].

Более того, роль Маха чрезвычайно велика в становлении всей фундаментальной теоретической физики XX в. — как теории относительности, так и квантовой теории. Можно без преувеличения сказать, что он стоял у колыбели трех обсуждаемых здесь миропониманий и произвел глубокий критический анализ ньютоновской физики (механики), обратив внимание на ее слабые стороны и тем самым подготовив почву для исследований во всех трех направлениях.

В своей книге «Механика (Историко-критический очерк ее развития)» Э. Мах писал: «Именно простейшие с виду принципы механики очень сложны; они основаны на незавершенных и даже недоступных полному завершению данных опыта; практически они, правда, достаточно проверены для того, чтобы, принимая во внимание достаточную устойчивость окружающей нас среды, служить основой для математической дедукции, но сами они вовсе не могут рассматриваться как математические истины, а они должны рассматриваться, напротив того, как принципы, не только способные поддаваться непрерывному контролю опыта, но даже нуждающиеся в нем» [106, с. 201].

Мах подробно, шаг за шагом, проанализировал метафизические основания классической механики Ньютона и продемонстрировал условный (идеализированный) характер ее ключевых понятий, таких как масса, абсолютные пространство, время, инерция, сила и другие. Напомним несколько высказываний Маха на этот счет:

«Мы не видим в «количестве материи» представления, которое было бы способно объяснить и иллюстрировать понятие массы, ибо оно само не обладает достаточной ясностью» [106, с. 184].

«Об абсолютном пространстве и абсолютном времени никто ничего сказать не может; это чисто абстрактные вещи, которые на опыте обнаружены быть не могут» [106, с. 195].

«Нет ничего невозможного в том, что на место элементарных законов, составляющих содержание современной механики, когда-нибудь займут (употребляя выражение К. Неймана) законы интегральные, что мы непосредственно будем познавать взаимную зависимость положений тел. В этом случае понятие силы стало бы излишним» [106, с. 222].

Исходя из проведенного анализа, Э. Мах сделал выводы:

1. «Все наши основные принципы механики представляют собою, как это было уже подробно показано, данные опыта об относительных положениях и движениях тел. Не следует и невозможno принимать их без проверки в областях, в которых их в настоящее время признают правильными. Никто не вправе расширять сферы действия этих основных принципов за пределы опыта. Такое расширение даже бессмысленно, ибо никто не сумел бы найти ему применение» [106, с. 194].
2. «Процессы чисто механические представляют собой абстракции, намеренно или по необходимости предпринимаемые в целях более легкого обзора. То же самое можно сказать и об остальных классах физических явлений. Каждый процесс — строго говоря — принадлежит ко всем областям физики, и грани, разделяющие эти последние, объясняются отчасти установившейся традицией, отчасти физиологическими и отчасти историческими причинами» [106, с. 422].
3. «Возрение, что механику следует рассматривать, как основу всех остальных отраслей физики, и что все физические процессы следует объяснять *механически*, есть, на мой взгляд, предрассудок. (...) По мере того, как становится известным и упорядоченным все большее и большее количество фактов, могут устанавливаться и совершенно новые руководящие воззрения. В настоящие времена даже знать не можем, какие из физических явлений идут *всего глубже*, не следует ли считать явления механические именно наиболее поверхностными или лежат ли они все *равно глубоко*» [106, с. 422].
4. «Было бы ошибочно думать, что великий и широкий взгляд был внесен в естествознание только механическим воззрением на природу. Нет, такой взгляд был достоянием первых исследователей всех времен и содействовал уже построению механики и, следовательно, не мог возникнуть лишь *через* эту последнюю. Галилей и Гюйгенс постоянно переходили от рассмотрения единичного к рассмотрению великого целого и обратно и пришли к своим великим результатам в своем стремлении к точке зрения простой и свободной от противоречий» [106, с. 425].
5. «Средствам мышления физики, понятиям массы, силы, атома, вся задача которых заключается только в том, чтобы побудить в нашем представлении экономно упорядоченный опыт, большинством естествоиспытателей приписывается реальность, выходящая за пределы мышления. Более того, полагают, что эти силы и массы представляют то настоящее, что подлежит исследованию, и если бы они стали известны, все остальное получилось бы

само собою из равновесия и движения этих масс. (...) Мы не должны считать основами действительного мира те интеллектуальные вспомогательные средства, которыми мы пользуемся для постановки мира на сцене нашего мышления» [106, с. 432].

Сейчас эти слова Маха можно с полным основанием отнести ко многим другим понятиям, имеющим ключевой характер как в геометрическом, так и в теоретико-полевом миропониманиях. Таковыми являются, например, понятия волновой функции и амплитуды вероятности, ароматические и хроматические внутренние пространства элементарных частиц и т. д.

В поле зрения Э. Маха находились и идеи о возможном неевклидовом характере физического пространства. Уже в 1903 г., в самом преддверии создания теории относительности, в своей статье «Пространство и геометрия с точки зрения естествознания» он дал глубокий анализ математических и физических аспектов развития представлений о геометрии пространства, подробно и обстоятельно охарактеризовал достижения Лобачевского, Я. Бояи, Римана, Гаусса и других. При этом он исходил из того, что «геометрия есть применение математики к опыту относительно пространства». Здесь он написал пророческие слова: «Все развитие, приведшее к перевороту в понимании геометрии, следует признать за здоровое и сильное движение. Подготавливаемое столетиями, значительно усилившееся в наши дни, оно никоим образом не может считаться уже законченным. Напротив, следует ожидать, что движение это принесет еще богатейшие плоды — и именно в смысле теории познания — не только для математики и геометрии, но и для других наук. Будучи обязано, правда, мощным толчкам некоторых отдельных выдающихся людей, оно, однако, возникло не из индивидуальных, но общих потребностей! Это видно уже из одного разнообразия профессий людей, которые приняли участие в движении. Не только математики, но и философы, и дидактики внесли свою долю в эти исследования. И пути, проложенные различными исследователями, близко соприкасаются» [105, с. 419].

Знаменательно, что Эйнштейн на самом активном этапе своего научного творчества находился под большим влиянием идей Маха. Создавая общую теорию относительности, он был в полной уверенности, что работает над реализацией идей Маха. Известно также, что Эйнштейн мало кого цитировал, а ссылки на Маха содержатся в большинстве его работ того периода.

Следует несколько слов сказать о судьбе самого Маха и его трудов. В 1898 г. у него случился инсульт, и около 20 последних лет он творил наполовину парализованным. В таком состоянии он написал свои известные книги «Познание и заблуждения» и «Оптика».

В пылу борьбы со своими политическими противниками, симпатизировавшими идеям Маха, В. И. Ленин в своей книге «Материализм и эмпириокритицизм» [98] обрушился на их автора, что послужило серьезным основанием для гонений в нашей стране на всех приверженцев трудов Маха на протяжении большей части XX в.¹⁾ Многие труды ученого в странах социалистического лагеря были уничтожены, в свет выходили лишь публикации о Махе критического характера.

Что же касается критики взглядов самого Маха на суть пространства, времени, на размерность пространства, материю и на другие ключевые элементы картины мира, то время уже многое расставило по своим местам. Но лучше всего сказал по аналогичному поводу сам Max: «Но что нам сказать о той суровой придирчивой критике, которой подверглись мысли Гаусса, Римана и их товарищей со стороны людей, занимающих выдающееся положение в науке? Неужели им на себе самих не пришлось никогда испытать того, что исследователь на крайних границах знания находит часто то, что не может быть гладко и немедленно усвоено каждым умом и что тем не менее далеко не бессмысленно? Конечно, и такие исследователи могут впадать в ошибки. Но ошибки иных людей бывают нередко по своим последствиям плодотворнее, чем открытия других» [105, с. 418].

Заслуги Э. Маха не исчерпываются подготовкой почвы для создания теории относительности и квантовой теории. Он, как и Б. Риман, и В. Клиффорд, высказал ряд идей, способствовавших развитию других новых направлений в фундаментальной теоретической физике. Некоторые из них не потеряли актуальности и по сей день. О его вкладе в исследования многомерных геометрических моделей физических взаимодействий, а также в развитие теории прямого межчастичного взаимодействия (реляционного видения мира) будет сказано в последующих главах.

¹⁾ Во время подготовки в Чехословакии празднования 150-летия со дня рождения Э. Маха выяснились любопытные обстоятельства, связанные с памятной доской на доме в пригороде Брно (ныне Чехия), где он родился. Эта доска была помещена на фасаде дома в 1938 г. в связи с празднованием 100-летней годовщины со дня рождения великого ученого. Во время оккупации Чехословакии фашистской Германией выяснилось, что новым властям память о Махе была неугодна. Доска была снята и водружена на место лишь в 1945 г. Но после провозглашения в стране социализма прокоммунистические власти опять приказали убрать мемориальную доску, и некоторое время спустя ее видели в куче мусора недалеко от дома. Потом она исчезла. Все поиски доски в канун празднования 150-летия со дня рождения Маха не привели к успеху, и была изготовлена и установлена новая мемориальная доска. Возвращаясь к вопросу соотношения физики (науки) и политики, любопытно отметить, что научные идеи Маха оказались неугодными как фашистским, так и социалистическим режимам.

8.6. Конвенционализм А. Пуанкаре

Неким диссонансом к взглядам Н. И. Лобачевского, К. Гаусса и В. Клиффорда на неевклидовы геометрии прозвучали соображения, высказанные французским математиком, физиком и философом Анри Пуанкаре. Если первые ставили вопрос, какой геометрией описывается реальный мир, то Пуанкаре заявил, что неважно, какую геометрию использовать для описания мира, — выбор геометрии определяется лишь соображениями удобства. В своей работе «Наука и гипотеза» (1902 г.) он писал: «Если мы теперь обратимся к вопросу, является ли евклидова геометрия истинной, то найдем, что он не имеет смысла. Это было бы все равно, что спрашивать, какая система истинна — метрическая или же система со старинными мерами, или какие координаты вернее — декартовы или же полярные. Никакая геометрия не может быть более истинна, чем другая; та или иная геометрия может быть только более удобной. И вот, евклидова геометрия есть и всегда будет наиболее удобной по следующим причинам:

1. Она проще других; притом она является таковой не только вследствие наших умственных привычек, не вследствие какой-то, я не знаю, непосредственной интуиции, которая нам свойственна по отношению к евклидову пространству; она наиболее проста и сама по себе, подобно тому как многочлен первой степени проще многочлена второй степени; формулы сферической тригонометрии сложнее формул прямолинейной тригонометрии, и они показались бы еще более сложными для аналитика, который не был бы знаком с геометрическими обозначениями.
2. Она в достаточной степени согласуется со свойствами реальных твердых тел, к которым приближаются части нашего организма и наш глаз и на основе которых мы строим наши измерительные приборы» [135, с. 41].

Позиция Пуанкаре определялась тем, что он в своих рассуждениях опирался главным образом лишь на две из трех ключевых физических категорий: *частиц и пространства-времени*. Так, он считал, что «если бы не было твердых тел в природе, не было бы и геометрии» [135, с. 48]. Даже когда он рассматривал свет, то имел в виду лишь его корпускулярные свойства — воспринимал его как материальные источники представлений о прямых линиях.

Он подчеркивал, что *пространство и геометрия являются идеальными конструкциями*, совокупностью удобных соглашений, порожденных опытом и формой мышления. Он писал: «Мы видим, что опыт играет необходимую роль в происхождении геометрии; но было бы ошибкой заключить, что геометрия — хотя бы отчасти — является экспериментальной наукой. Если бы она была экспериментальной нау-

кой, она имела бы только временное, приближенное — и весьма грубо приближенно! — значение. Она была бы только наукой о движении твердых тел. Но на самом деле она не занимается реальными твердыми телами; она имеет своим предметом некие идеальные тела, абсолютно неизменные, которые являются только упрощенным и очень удаленным отображением реальных тел. Понятие об этих идеальных телах целиком извлечено нами из недр нашего духа, и опыт представляет только повод, побуждающий нас его использовать. Предмет геометрии составляет изучение лишь частной «группы» перемещений, но общее понятие группы существует раньше в нашем уме (*dans notre esprit*), по крайней мере в виде возможности. Оно присуще нам не как форма нашего восприятия, а как форма нашей способности суждений» [135, с. 53].

Пуанкаре настаивал на том, что «опыты относятся не к пространству, а к телам» [135, 133, с. 60]. Отсюда следовало, что любой опыт можно интерпретировать двояко: либо через проявления свойств пространства, либо через особые закономерности поведения тел. Отсюда он делал вывод: «Поскольку невозможно указать конкретный опыт, который мог бы быть истолкован в евклидовой системе и не мог бы быть истолкован в системе Лобачевского, то я могу заключить: никогда никакой опыт не окажется в противоречии с постулатом Евклида, но зато и никакой опыт не будет никогда в противоречии с постулатом Лобачевского» [135, с. 55].

Точно так же он трактовал проекты астрономических экспериментов, предлагавшихся Лобачевским и другими: «Если справедлива геометрия Лобачевского, то параллакс очень удаленной звезды будет конечным; если справедлива геометрия Римана, то он будет отрицательным. Эти результаты, по-видимому, допускают опытную проверку: можно было надеяться, что астрономические наблюдения могут решить выбор между тремя геометриями. Но то, что в астрономии называется прямой линией, есть просто траектория светового луча. Если, следовательно, сверх ожидания, удалось бы открыть отрицательные параллаксы или доказать, что все параллаксы больше известного предела, то представлялся бы выбор между двумя заключениями: мы могли бы или отказаться от евклидовой геометрии, или изменить законы оптики и допустить, что свет распространяется не в точности по прямой линии. Бесполезно добавлять, что всякий счел бы второе решение более удобным. Таким образом, евклидовой геометрии нечего опасаться новых опытов» [135, с. 54].

Отметим, что вскоре астрономы обнаружили отрицательные параллаксы ряда звезд, но все оказалось сложнее. Из двух альтернатив, указанных Пуанкаре, физики избрали не самую простую евклидову геометрию, а вариант движения света вдоль геодезических линий в еще более общей римановой геометрии.

Основной недостаток в рассуждениях Пуанкаре состоял в игнорировании им третьей ключевой физической категории — полей переносчиков взаимодействий, а точнее — гравитационного поля, а именно в этом, во включении физических полей в геометрию пространства-времени состоит главное в геометрическом миропонимании. К сожалению, А. Пуанкаре не дожил до открытия общей теории относительности, хотя и содействовал этому, во-первых, в виде вклада в создание специальной теории относительности и, во-вторых, в его более поздних работах уже была рассмотрена теория гравитационного поля в пространстве-времени Минковского. Гравитация и теория относительности (пока лишь специальная) уже были поставлены рядом.

В философской литературе взгляды Пуанкаре о принципиальной равнотенности евклидовой и неевклидовых геометрий и о выборе одной из них по соображениям удобства называют конвенционалистскими. Отметим, что подобным образом можно было бы относиться и к трем миропониманиям: теоретико-полевому, геометрическому и реляционному, — считать, что выбор того или иного из них является делом вкуса или удобства исследователя. Однако в нашем подходе предлагается иное их понимание — через дополнительность. Разные миропонимания позволяют разглядеть дополняющие друг друга закономерности (стороны) единого мироздания и на этой основе шагнуть дальше. Можно выбирать промежуточный путь из соображений удобства или личного пристрастия исследователя, но не следует забывать об общей нацеленности всех путей на построение единой монистической парадигмы.

8.7. Принцип эквивалентности и геометрия

До сих пор речь шла о геометрических идеях, о логических основаниях, приведших к созданию общей теории относительности. Но, оказывается, с давних времен имелись достаточно серьезные опытные данные, для осмыслиения которых как раз и не хватало идеи об искривленности пространства (-времени). Так, уже после экспериментов Галилея с падающими телами с Пизанской башни стало известно, что все тела в поле тяжести Земли падают одинаково независимо от их индивидуальных свойств (массы, вещества, формы и т. д.). Затем это нашло свое воплощение в законах механики Ньютона и закона всемирного тяготения. Напомним, из второго закона Ньютона для падающих тел в гравитационном поле Земли следует

$$gm = G \frac{mM}{R^2} \rightarrow g = G \frac{M}{R^2}, \quad (8.7.1)$$

где m — масса тела, M — масса Земли, R — расстояние до центра Земли. Следовательно, уже тогда напрашивался вывод, что приобретаемое те-

лами ускорение g зависит лишь от той точки пространства (от расстояния R), где они оказались. Уже можно было поставить вопрос: нельзя ли характеристику притяжения (получаемое телами ускорение) связать не с самими телами, а с соответствующим местом пространства, где они находятся? Заметим, что эта идея была созвучна еще не забытым тогда взглядам Аристотеля, наделявшего не только тела, но и места некими динамическими свойствами. Напомним его слова: «Перемещения простых физических тел, например, огня, земли и подобных им, показывает, что место есть не только нечто, но что оно имеет и какую-то силу».

Но как можно было реализовать эту идею в рамках представлений об евклидовом пространстве? Ведь евклидово пространство и даже плоское пространство-время Минковского чрезвычайно бедны по своим свойствам. Пространство однородно, т. е. одинаково во всех точках, и изотропно — одинаково по всем направлениям. Лишь после освоения физиками идеи об искривленности пространства (и времени), когда появились представления о пространстве, по-разному искривленному в различных местах, возникла возможность ответить на данный вопрос. Ускорение можно связать с характеристиками искривленности пространства, а линии, по которым движутся тела, приобретают характер универсальных кривых в пространстве (-времени). Последние можно отождествить с экстремальными линиями — геодезическими. Напомним, что в евклидовой геометрии это прямые линии, в геометрии Лобачевского — гиперболы, в сферической геометрии Римана — дуги большого радиуса, а в произвольно искривленном мире это более сложные кривые линии. Эта идея и была реализована в общей теории относительности Эйнштейна.

Следует остановиться на вопросе о смысле массы тела, сокращенной в (8.7.1). С одной стороны, массу можно определить, измеряя силу притяжения данного тела к некоторому эталонному. Полученная таким образом величина характеризует гравитационный заряд тела — его способность притягиваться к другому телу. Эта так называемая *гравитационная (тяжелая) масса* m_{gr} записана в правой части уравнения (8.7.1). С другой стороны, массу можно определить из второго закона Ньютона, измеряя ускорение, которое приобретает тело под действием заданной эталонной силы. Получаемая таким образом величина характеризует инертные свойства тела — способность тела сохранять свою скорость. Эту величину, стоящую в левой части (8.7.1), называют *инертной массой* m_{in} . Эти две массы сокращены слева и справа фактически на основании постулата об их равенстве. Вообще говоря, достаточно факта пропорциональности масс с неким универсальным коэффициентом пропорциональности. Однако этот коэффициент можно включить в определение гравитационной постоянной G и в дальнейшем уже говорить о равенстве двух типов масс.

Факт равенства масс был назван Эйнштейном *принципом эквивалентности*. Сейчас его принято называть *слабым принципом эквивалентности*. Таким образом, первые эксперименты по принципу эквивалентности были произведены Галилеем. Кроме того, как рассказывают, он же обратил внимание на связь закономерностей с колебаниями люстр в соборе и одинаковым падением тел разного состава. Первая количественная проверка этого принципа была проведена Ньютоном, который сравнивал процессы колебаний двух маятников. Их грузы, сделанные из разных веществ, но обладавшие разным весом, помещались в центры тяжести одинаковых деревянных ящиков (чтобы уравнять аэродинамические свойства обоих маятников), и велось наблюдение за колебаниями этих систем. Ньютон доказал, что периоды колебаний маятников не зависят от значений масс и материала. Именно на основании этих экспериментов и опытов Галилея Ньютон отождествил гравитационную и инертную массы. Следует отметить, что точность экспериментов Галилея и Ньютона была незначительной.

В дальнейшем эксперименты по проверке принципа эквивалентности неоднократно повторялись и совершенствовались. Следует особо отметить эксперименты груши Роланда Этвеша, проводившиеся с 1886 по 1908 г. В них было установлено равенство инертной и тяготеющей масс с относительной точностью 10^{-8} . Уточнение этого результата продолжалось и в последующие годы. Здесь нужно назвать эксперименты 1964 г. Р. Диккса, достигшего точности $3 \cdot 10^{-11}$, и эксперименты В. Б. Брагинского 1971 г. на физическом факультете МГУ, улучшившие результат до $0,9 \cdot 10^{-12}$.

Принято различать слабый, обсужденный выше, и сильный принципы эквивалентности. *Сильный принцип эквивалентности* утверждает, что в свободно падающей лаборатории при проведении локальных экспериментов физические законы, включая все численные результаты, проявляются одинаково независимо от места их проведения. Здесь не будем углубляться в массу тонкостей, связанных с подтверждением как слабого, так и сильного принципов эквивалентности. Отметим лишь, что пока не было найдено отклонений от этих принципов.

Идеи и выводы общей теории относительности



Открытие общей теории относительности в начале XX в. означало появление новой метафизической парадигмы, в которой поля переносчиков взаимодействий уже не самостоятельные понятия (категории), вносимые извне в априорное пространство-время, а проявления геометрических свойств искривленного (закрученного, многомерного и т. д.) пространства-времени. Геометрическое миропонимание предстало как альтернативный подход к описанию физической реальности со своими методами, специфическими задачами и проблемами. Гравитационное взаимодействие оказалось первым, которое удалось связать с геометрией (с метрикой), и вслед за ним наступила очередь геометризации других взаимодействий. Вместе с тем была открыта новая эра в истории учения о пространстве-времени и природе физических взаимодействий.

С созданием общей теории относительности некоторые философские и религиозные (точнее, богословские) проблемы стали предметом изучения физики. Среди них следует назвать вопросы конечности или бесконечности мира, его начала и конца и многие другие. Качественно изменилось место физики среди других разделов науки и культуры: философии, математики, религии.

9.1. Сущность общей теории относительности

В результате исследований неевклидовых (римановых) геометрий рядом выдающихся геометров был подготовлен математический аппарат для создания общей теории относительности. Не хватало двух факторов. Прежде всего, необходимо было объединить 3-мерное пространство и 1-мерное время в единое 4-мерное пространственно-временное многообразие, что было сделано в самом начале XX в. в специальной теории относительности. Этот вопрос рассмотрен во второй главе.

Во-вторых, необходимо было поставить рядом гравитацию и идею об искривленности пространства-времени, что было сделано вскоре после

создания специальной теории относительности. Так, в статье А. Пуанкаре 1906 г. «О динамике электрона» [134] уже наряду с электромагнитным было проанализировано и гравитационное взаимодействие в рамках специальной теории относительности, т. е. гравитация была поставлена рядом со свойствами пространства-времени. Вскоре к обсуждению этого вопроса присоединился и Альберт Эйнштейн, опубликовавший в 1907 г. статью «О принципе относительности и его следствиях», где, во-первых, тяготение рассматривалось с учетом принципа относительности и, во-вторых, отмечалась связь гравитации с силами инерции в ускоренных системах отсчета, т. е. учитывался принцип эквивалентности.

Затем последовал период мучительного формирования самой общей теории относительности. На этом пути чрезвычайно важным шагом явился выход в 1913 г. совместной статьи А. Эйнштейна с известным математиком Марслем Гроссманом «Проект обобщенной теории относительности и теории тяготения» [201], где было сказано самое важное: гравитационное взаимодействие обусловлено искривленностью 4-мерного пространства-времени. Из этой статьи очевидно, что А. Эйнштейн искал математический аппарат, позволяющий связать гравитацию с геометрией, но в тот момент он еще не располагал нужными знаниями в области уже развитой к тому времени римановой геометрии. Освоить нужную математику ему помог М. Гроссман, с которым он дружил со студенческих лет. Статья состояла из двух частей: первая, физическая, была написана А. Эйнштейном, тогда как вторая, математическая, принадлежала перу Гроссмана, который подробно излагал основы аппарата дифференциальной геометрии, вводил метрику и разъяснял другие геометрические понятия, использованные Эйнштейном в первой части. После выхода в свет этой статьи самое главное было сделано, все остальное, можно сказать, представляло собой техническую (математическую) часть доработки теории, завершенную на рубеже 1915 и 1916 гг., когда почти одновременно А. Эйнштейном и Давидом Гильбертом были записаны уравнения (Эйнштейна) для гравитационного поля.

Суть этих уравнений состоит в установлении связи характеристик искривленного пространства-времени (геометрии) со свойствами находящейся в нем материи. Конечно, это было еще далеко не все. Предстояло научиться решать очень сложную систему из 10 нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка, начав с отдельных решений для наиболее интересных частных случаев. Нужно было осмыслить их и изучить возможные физические эффекты, подтверждающие общую теорию относительности. Решением этих и ряда других проблем физики-теоретики и математики занимались в течение всего XX в.

Напомним, как понимал общую теорию относительности сам ее создатель А. Эйнштейн. В своей статье 1919 г. «Принципиальное содержание общей теории относительности» он писал: «Теория, как мне

кажется сегодня, покоится на трех основных положениях, которые ни в какой степени не зависят друг от друга. Ниже они будут коротко сформулированы, а в дальнейшем освещены с некоторых сторон.

- А. *Принцип относительности*: законы природы являются лишь высказываниями о пространственно-временных совпадениях; поэтому они находят свое естественное выражение в общековариантных уравнениях.
- Б. *Принцип эквивалентности*: инерция и тяжесть тождественны; отсюда и из результатов специальной теории относительности неизбежно следует, что симметричный «фундаментальный тензор» ($g_{\mu\nu}$) определяет метрические свойства пространства, движение тел по инерции в нем, а также и действие гравитации. Описываемое фундаментальным тензором состояние пространства мы будем обозначать как „G-поле“.
- В. *Принцип Маха*: G-поле полностью определено массами тел» [202, с. 613].

Впоследствии время внесло коррективы в понимание сущности общей теории относительности. Изменились взгляды и самого Эйнштейна, в частности, вскоре он стал смотреть иначе на роль принципа Маха. Отметим также, что сформулированные тогда принципы в значительной степени отражали путь, по которому он шел, создавая теорию. Когда же теория была построена, на ее содержание уже можно было смотреть и под иными углами зрения. Процесс осмысливания общей теории относительности, всесторонний анализ ее оснований продолжался в течение всего XX в. Так, в середине XX в. известный физик-гравитационист Дж. Синг, выступая на международной гравитационной конференции, заявил: «Сколько людей занимается общей теорией относительности, столько имеется и ее пониманий».

9.2. Ключевые понятия общей теории относительности

Выдающийся российский физик-теоретик В. А. Фок несколько иначе смотрел на суть общей теории относительности: «Истинной логической основой теории тяготения Эйнштейна является не идея общей относительности и не принцип эквивалентности, а другие две идеи, имевшие: идея объединения пространства и времени в единое хроногеометрическое многообразие с индефинитной метрикой (эта идея была осуществлена Эйнштейном уже в его теории 1905 г. — в «частной» теории относительности) и отказ от «жесткости» метрики, позволивший связать ее с явлением тяготения, а тем самым и с весомой материей (уравнения тяготения Эйнштейна). Идеи же общей ковариантности уравнений (так называемая общая относительность) и кинематического толкования тя-

готения (так называемая эквивалентность) сыграли лишь эвристическую роль» [175]. По справедливому мнению В. А. Фока, эти два принципа послужили своего рода «строительными лесами» или «повивальной бабкой» при создании общей теории относительности. Попробуем с минимальным использованием математики расшифровать сказанное В. А. Фоком и одновременно обсудить основные понятия и уравнения общей теории относительности.

Компоненты метрического тензора. Самым главным понятием в общей теории относительности и во всей физике является *метрика*, т. е. вещественное число, которое сопоставляется с двумя точками (событиями). В геометрии Евклида – это квадрат расстояния между точками, в теории относительности – это квадрат интервала между двумя событиями. Как это ни странно, на первый взгляд, но на суть общей теории относительности и всей геометрической картины мира можно посмотреть как на обобщение теоремы Пифагора, причем по двум каналам: а) увеличению размерности и б) переходу к искривленным многообразиям.

1а. Начнем с теоремы Пифагора на плоскости (в 2-мерном плоском пространстве)

$$l^2 = (x^1)^2 + (x^2)^2, \quad (9.2.1)$$

где x^1 и x^2 – длины двух катетов, или, что одно и то же, разности декартовых координат двух рассматриваемых точек.

1б. В предыдущей главе уже упоминалось, что еще в первой половине XIX в. К. Гауссом была разработана теория 2-мерных искривленных поверхностей, на которых уже невозможно определить прямолинейные декартовы координаты. Суть теории Гаусса состояла в том, что, во-первых, теперь расстояния нужно задавать между двумя *близкими* точками на поверхности (см. рис. 9.1) и, во-вторых, в определение квадрата расстояния нужно ввести корректиры, так что формула (9.2.1) принимает вид

$$dl^2 = g_{11}(dx^1)^2 + g_{22}(dx^2)^2 + 2g_{12}dx^1dx^2, \quad (9.2.2)$$

где коэффициенты $g_{\xi\eta}(x)$ – функции криволинейных координат на искривленной 2-мерной поверхности. Расстояние между произвольными двумя точками следует определять в виде интеграла вдоль кратчайшей или вдоль какой-то другой кривой, соединяющей две точки.

2а. В 3-мерном евклидовом пространстве квадрат расстояния между двумя точками определяется посредством увеличения на одну координату формулы (теоремы Пифагора) (9.2.1):

$$l^2 = (x^1)^2 + (x^2)^2 + (x^3)^2. \quad (9.2.3)$$

Трудно сказать, кем впервые это было сделано. Известно лишь то, что такая формула писалась Декартом.

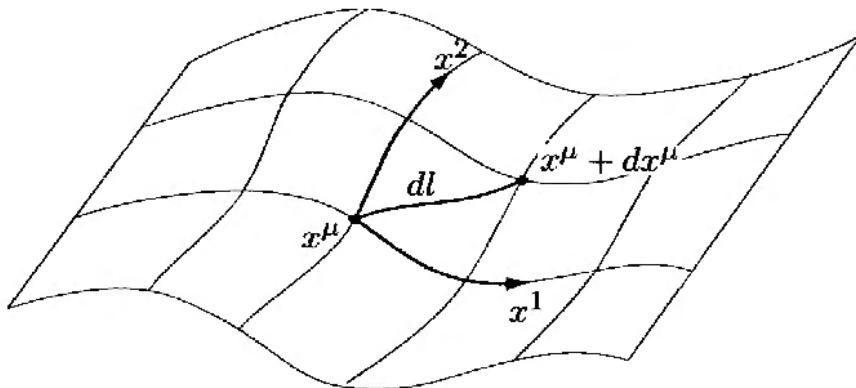


Рис. 9.1. Смещения на 2-мерной искривленной поверхности, где заданы криволинейные координаты

26. Обобщение формулы (9.2.3) на случай искривленных 3-мерных пространств было сделано Б. Риманом в лекции, столь воодушевившей Гаусса. Как уже отмечалось, молодой ученый использовал развитый Гауссом математический аппарат описания геометрии 2-мерных кривых поверхностей и ввел понятие «многократно протяженных величин», означающее, что пространство — всего лишь трехкратно протяженная величина, для которой подходят методы описания 2-кратно протяженных величин, т. е. квадрат длины между двумя близкими точками в искривленном пространстве должен иметь вид, аналогичный (9.2.2):

$$dl^2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3 g_{ik} dx^i dx^k \equiv g_{ik} dx^i dx^k, \quad (9.2.4)$$

где $g_{ik}(x)$ — коэффициенты — компоненты метрики, зависящие от трех координат. Здесь и в дальнейшем знак суммирования писать не будем, так как принято использовать правило: по двум одинаковым индексам (сверху и снизу) подразумевается суммирование, — в данном случае от 1 до 3.

За. Согласно специальной теории относительности, пространство и время образуют единое 4-мерное многообразие. Теперь ключевым выражением является квадрат интервала s^2 между двумя событиями, который представляет собой обобщение теоремы Пифагора еще на одно измерение и псевдоевклидову сигнатуру:

$$s^2 = (ct)^2 - l^2 \equiv (x^0)^2 - (x^1)^2 - (x^2)^2 - (x^3)^2 \equiv \eta_{\mu\nu} x^\mu x^\nu, \quad (9.2.5)$$

где $t = x^0/c$ — разность времен между двумя событиями, остальные обозначения прежние.

36. В упомянутой выше работе Эйнштейна и Гроссмана была записана формула для квадрата интервала в 4-мерном искривленном пространстве-времени

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu. \quad (9.2.6)$$

Здесь и далее греческие индексы пробегают четыре значения: 0, 1, 2, 3, по которым подразумевается суммирование. Очевидно, что эта формула обобщает метрику (9.2.5) в специальной теории относительности. Ключевую роль в общей теории относительности играют коэффициенты $g_{\mu\nu}$ — компоненты 4-мерного метрического тензора. Очевидно, что из-за симметрии индексов $g_{\mu\nu} = g_{\nu\mu}$ различных компонент будет только 10. Выпишем их в виде квадратной 4×4 -матрицы (слева)

$$g_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} g_{00} & g_{01} & g_{02} & g_{03} \\ g_{10} & g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{20} & g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{30} & g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{pmatrix} \rightarrow \eta_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} +1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}. \quad (9.2.7)$$

В самом общем случае различными следует считать 4 диагональных слагаемых и 6 слагаемых, расположенных над диагональю. Шесть компонент под диагональю совпадают с соответствующими компонентами над диагональю. В правой части записаны компоненты 4-мерной метрики (9.2.5) в пространстве-времени Минковского (в декартовых координатах).

Одному скалярному потенциальному φ ньютоновской теории гравитации в эйнштейновской теории соответствуют 10 компонент $g_{\mu\nu}$ — своеобразных гравитационных потенциалов, которые образуют основной строительный материал общей теории относительности.

Уравнения геодезических линий и символы Кристоффеля. В общей теории относительности важную роль играют уравнения геодезических (т. е. экстремальных) линий, о которых говорилось в предыдущей главе. В евклидовой геометрии ими являются прямые линии, в геометрии Лобачевского — это гиперболы, изображенные на рис. 8.2, а в геометрии Римана (постоянной положительной кривизны) — это дуги больших кругов на рис. 8.3. Запишем уравнения этих линий в самом общем виде

$$\frac{d^2x^\mu}{ds^2} = -\Gamma_{\alpha\beta}^\mu \frac{dx^\alpha}{ds} \frac{dx^\beta}{ds}, \quad (9.2.8)$$

где слева стоит релятивистское ускорение тела (вместо времени выступает интервал), а справа входят квадратично 4-мерные скорости и коэффициенты $\Gamma_{\alpha\beta}^\mu$ — так называемые *коэффициенты связности*, или *символы Кристоффеля*, представляющие собой комбинации из первых производных от метрического тензора¹⁾. В теории показывается, что все

¹⁾ В римановой геометрии символы Кристоффеля следующим образом записываются через компоненты метрического тензора:

$$\Gamma_{\alpha\beta}^\mu = \frac{g^{\mu\nu}}{2} \left(\frac{\partial g_{\alpha\nu}}{\partial x^\beta} + \frac{\partial g_{\beta\nu}}{\partial x^\alpha} - \frac{\partial g_{\alpha\beta}}{\partial x^\nu} \right).$$

тела в отсутствие внешних сил движутся по геодезическим линиям. В согласии с принципом эквивалентности в эти уравнения не входят массы тел, т. е. все тела движутся одинаковым образом, как это и наблюдал Галилей в опытах по их падению с Пизанской башни.

Тензор кривизны и уравнения Эйнштейна. Важную роль в теории играют вторые производные от компонент метрического тензора по координатам. Так уж устроен наш мир, что основные уравнения физики являются дифференциальными уравнениями второго порядка. В геометрии Римана имеется характерная комбинация из вторых производных от метрического тензора, называемая *тензором кривизны*, или *тензором кривизны Римана–Кристоффеля* $R^{\mu}_{\nu\alpha\beta}$. Кривизна характеризует изменение компонент векторов и тензоров при их параллельном переносе по замкнутому контуру.

Уравнения Эйнштейна записываются через компоненты тензора кривизны (точнее, тензора кривизны Риччи $R_{\mu\nu} = R^{\alpha}_{\mu\alpha\nu}$) и характеризуют зависимость кривизны от распределения в пространстве–времени материи. Не вникая в математические тонкости, выпишем их в общепринятом виде

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \alpha T_{\mu\nu} \rightarrow \quad (9.2.9)$$

\rightarrow [Геометрия] = α [Физическая материя],

где $R = R_{\mu\nu}g^{\mu\nu}$ — так называемая *скалярная кривизна*, а величина справа $T_{\mu\nu}$ — тензор энергии-импульса всей негеометризованной материи. Коэффициент $\alpha = 8\pi G/c^4$ — эйнштейновская гравитационная постоянная, выраженная через G , ньютоновскую гравитационную постоянную, и скорость света c — связывает между собой геометрические и физические величины разной (физической) размерности.

Во второй строке (9.2.9) приведена символическая запись уравнений Эйнштейна, отражающая смысл этих уравнений, связь обобщенной категории искривленного пространства–времени (полученной слиянием двух категорий плоского пространства–времени и гравитационного поля) с оставшейся третьей физической категорией частиц (с негеометризованной материей).

Возвращаясь к конвенционалистским взглядам на геометрию А. Пуанкаре, следует сказать, что в общем случае сохраняется право выбора между 1) описанием движения тел с помощью неких усложненных (подправленных) уравнений Ньютона в плоском пространстве–времени, что соответствует триалистической парадигме, и 2) описанием посредством уравнений геодезических линий (9.2.8), но в искривленном пространстве–времени, что соответствует геометрическому миропониманию. Пуанкаре полагал, что всякий счел бы более удобным первый вариант, однако когда пришлось выбирать не между евклидовой и двумя видами неевклидовых геометрий, а между 4-мерной псевдоевклидовой

и произвольной римановой геометрией, причем в связи с описанием гравитации, «более удобным» (точнее, — более адекватным физической реальности) оказался второй вариант. Он опирается на меньшее число исходных принципов, и на его основе удалось обнаружить закономерности, к которым трудно было прийти в рамках теоретико-полевого миropонимания. Однако сторонники «релятивистской теории гравитации» Логунова предпочитают настаивать на первом варианте Пуанкаре.

9.3. Системы отсчета в теории гравитации

Многолетний анализ основ общей теории относительности показал, что к названным Фоком двум идеям следует добавить еще один блок идей, выявляющий роль систем отсчета в теории гравитации. Только после этого общая теория относительности, в полной мере соответствуя своему названию, позволяет описывать явления в произвольных (неинерциальных) системах отсчета. Без него теория не полна и приводила к ряду недоразумений. Так, Эйнштейн и ряд других физиков часто путали такие различные понятия, как координатная система и система отсчета. В этой связи напомним высказывание В. А. Фока: «Понятие физической системы отсчета (лаборатории) не равносильно, в общем случае, понятию системы координат, даже если отвлечься от всех свойств лаборатории, кроме ее движения как целого» [175, с. 5]. Методы описания систем отсчета в общей теории относительности были разработаны в 50-х — 70-х гг. XX в. в работах, главным образом, отечественных авторов: А. Л. Зельманова, Н. В. Мицкевича, О. С. Иваницкой, В. И. Родичева и других, в том числе и автора данной книги [26].

Как известно, система отсчета и связанные с ней понятия необходимы для корректного описания результатов измерений (наблюдений физических явлений), так как они существенно зависят от того, как движется наблюдатель со своими приборами. В гл. 2 этот вопрос уже рассматривался в рамках специальной теории относительности. Было подчеркнуто, что если создание и первые этапы развития теории относительности происходили в направлении объединения пространства и времени в единое многообразие, то методы описания систем отсчета выполняют прямо противоположную функцию, — они, напротив, расщепляют 4-мерные понятия на привычные величины, отнесенные к физическому времени и физическому (наблюдающему) пространству используемой системы отсчета.

Наиболее удобным методом описания систем отсчета в общей теории относительности является так называемый *монадный метод*, который опирается на предположение, что во всех точках пространства находятся свои наблюдатели, составляющие континуум. Каждый наблюдатель совершает измерения в своей точке и, эволюционируя, описы-

вает в пространстве-времени свою времени-подобную мировую линию. При этом постулируется, что в каждой точке может находиться один и только один наблюдатель, т. е. что их мировые линии не пересекаются и образуют *конгруэнцию времени-подобных мировых линий*. Наконец, полагается, что наблюдатели являются идеальными в том смысле, что их масса пренебрежимо мала и не влияет на метрику пространства-времени.

Далее эти идеи обрабатываются математически. Так, в каждой точке можно построить единичный касательный вектор к соответствующей времени-подобной мировой линии, который имеет физический смысл 4-мерной скорости наблюдателя. В итоге в каждой точке (см. рис. 9.2) задается один 4-мерный вектор — монада τ^μ , откуда и пошло название монадного метода. Этот вектор позволяет из произвольного тензора (в том числе и вектора смещения) выделять времени-подобные компоненты путем проецирования на вектор τ^μ . Далее метрический тензор представляется в виде

$$g_{\mu\nu} = \tau_\mu \tau_\nu - h_{\mu\nu}, \quad (9.3.1)$$

где $h_{\mu\nu}$ имеет смысл метрического тензора 3-мерного пространственного сечения, ортогонального монаде (мировым линиям системы отсчета). С его помощью находятся пространственно-подобные компоненты любого тензора.

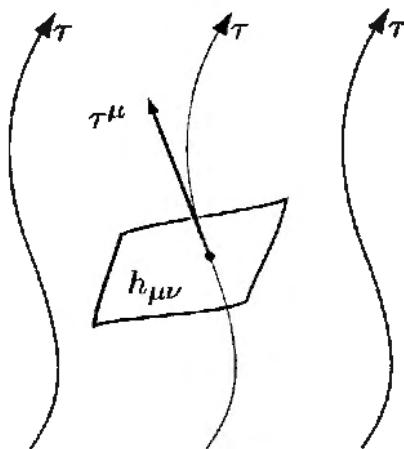


Рис. 9.2. Конгруэнция мировых линий наблюдателя, монада и локальное 3-мерное пространство наблюдателя

Не будем погружаться в математический аппарат монадного метода. Отметим лишь, что его можно представить из следующих четырех частей: 1) алгебры монадного метода, 2) определения монадных физико-геометрических тензоров, 3) задания монадных операторов дифференцирования и 4) записи всех уравнений физики в монадном виде, т. е. относительно используемой системы отсчета. Заметим, что в монадном виде уравнения оказываются похожими на привычные

уравнения в специальной теории относительности, но дополнительно учитывают силы инерции.

При этом следует обратить особое внимание на физико-геометрические тензоры, т. е. тензоры, записываемые через первые производные от составляющих метрического тензора (справа в (9.3.1)). Оказывается, таких величин три и только три. Они являются важными характеристиками системы отсчета — это *вектор ускорения, угловая скорость вращения и характеристика деформации системы отсчета*. Когда ранее говорилось о принципе эквивалентности, как правило, имелась в виду ускоренная система отсчета, где соответствующая сила инерции эквивалентна гравитационной силе.

При корректном использовании методов описания систем отсчета отпадают многие недоразумения, встречавшиеся в литературе. Так в некоторых работах утверждалось, что эйнштейновская общая теория относительности некорректна из-за того, что все используемые в ней величины зависят от выбора координатных систем. Изменяя координатную систему, представляющую собой лишь способ нумерации точек, можно величины изменять в широких пределах. При этом задавали вопросы, что же тогда измеряет наблюдатель в своей лаборатории? Так вот, в монадном методе наблюдаемые (измеряемые наблюдателем) величины могут быть только скалярами, т. е. они никак не зависят от выбора координатных систем.

Понятие системы отсчета в общей теории относительности заставляет сделать ряд важных выводов.

Во-первых, системы отсчета в теории гравитации демонстрируют тот факт, что переход от двух первичных (общепринятых) физических категорий к некоей новой категории диктует применение методов проецирования новых понятий на наблюдателя, использующего привычные понятия. Без такого метода проецирования нельзя осмыслить содержание новой теории.

Во-вторых, выделенные В. А. Фоком два принципа в основе общей теории относительности плюс блок системы отсчета позволяют посмотреть на эти три начала под новым углом зрения. Точками 4-мерного пространственно-временного многообразия (первое начало у Фока) описываются события с участием рассматриваемых объектов, гибкая метрика («нежесткая» по Фоку) в конце концов делает возможным учсть влияние на рассматриваемый объект со стороны всех других окружающих тел Вселенной (принцип Маха у Эйнштейна) и, наконец, сама система (тело) отсчета — это присутствие самого наблюдателя. Другими словами, теперь троичность выступает в следующем виде: наблюдатель — объект — окружающие тела.

9.4. Пространство-время вблизи центрального источника

В 1916 г., сразу же после открытия уравнений Эйнштейна, Карлом Шварцшильдом было найдено самое важное для физики точное решение этих уравнений — получена метрика пространства-времени вокруг сферически симметричного материального источника. В частности, таковыми источниками являются Солнце, Земля и многие другие астрофизические объекты. Выпишем это решение в сферических координатах

$$ds^2 = \left(1 - \frac{2GM}{c^2r}\right)(dx^0)^2 - \frac{dr^2}{1 - 2GM/c^2r} - r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2), \quad (9.4.1)$$

где r — радиальная координата, θ и φ — два угла от некоей оси и от заданного направления в экваториальной плоскости, M — масса центрального объекта, метрика (9.4.1) имеет диагональный вид, причем перед одним слагаемым (времени-подобной частью) стоит знак плюс, а перед остальными (тремя пространственно-подобными) — знак минус. Это обстоятельство соответствует сигнатуре пространства-времени $(+ - - -)$.

Рассмотрим некоторые принципиальные моменты метрики Шварцшильда. Выделим пространственно-подобную часть, т. е. положим $dx^0 = 0$, тогда можно писать $-ds^2 = dl^2$. Зафиксируем радиальную координату r , положив $dr = 0$, и рассмотрим смещение по окружности в экваториальной плоскости, т. е. пусть $\theta = 90^\circ$ и изменяться может лишь угол φ в экваториальной плоскости от нуля до 2π . В этом случае из (9.4.1) имеем выражения для смещения и полную длину окружности:

$$dl = rd\varphi \rightarrow l = 2\pi r. \quad (9.4.2)$$

Это очевидный результат, гласящий, что длина окружности, как и в евклидовом пространстве, выражается в виде произведения 2π на радиус. Однако в данном случае r является лишь радиальной координатой, которая при другом выборе координат могла бы входить в длину окружности иным образом. По этой причине часто говорят, что метрика Шварцшильда в виде (9.4.1) записана в специальных координатах *кривизн*.

Теперь возьмем смещение вдоль радиальной координаты от некоторого начального значения r_1 до конечного r_2 при $\theta = 90^\circ$ и при постоянном значении угла φ . В этом случае из (9.4.1) имеем

$$dl = \frac{dr}{\sqrt{1 - 2GM/c^2r}} \rightarrow l = \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{\sqrt{1 - 2GM/c^2r}} > (r_2 - r_1), \quad (9.4.3)$$

т. е. расстояние от источника до окружности длиной $2\pi r_2$ оказывается больше значения разности радиальных координат. Этот факт следует

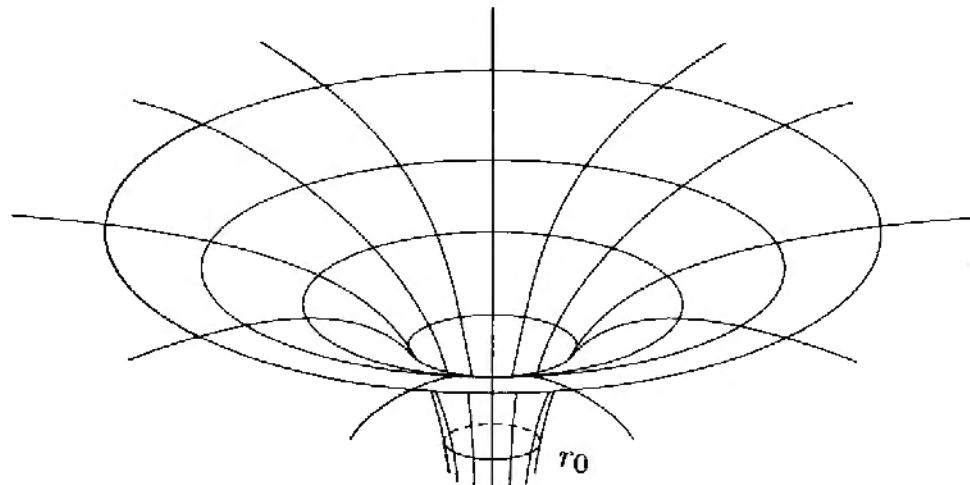


Рис. 9.3. Воронка, иллюстрирующая искривление пространства вокруг сферически-симметричного материального источника

трактовать как прогибание пространства под материальным источником. Проиллюстрируем такое искривление пространства с помощью доступной нашему воображению 2-мерной аналогии в виде воронки на рис. 9.3.

Рассмотрим метрику Шварцшильда при очень малых значениях параметра r . Из (9.4.1) видно, что при значении радиальной координаты

$$r_0 = \frac{2GM}{c^2} \quad (9.4.4)$$

компонента метрики g_{00} обращается в нуль, а компонента g_{11} стремится к бесконечности. Это значение r_0 называется *гравитационным радиусом*. Для Солнца он равен приблизительно 3 километрам, а для Земли — миллиметру. При еще меньших значениях $r < r_0$ компонента g_{00} становится отрицательной, а компонента g_{11} — положительной. Это означает, что координаты x^0 и $x^1 = r$ меняют свой характер: координата x^0 становится пространственно-подобной, а координата r — времени-подобной.

Для реальных объектов с геометрическими размерами, значительно превышающими гравитационный радиус, r_0 имеет символическое значение — означает перевод значений масс в размерность длины.

На основе записанных формул была высказана *гипотеза черных дыр*, имеющая многих сторонников. Согласно этой гипотезе, могут существовать объекты с геометрическим радиусом, меньшим гравитационного. Тогда вблизи таких объектов следует ожидать множество необычных явлений. Например, расчеты показывают, что из-под гравитационного радиуса ничто не может выйти, — ни у света, ни у других тел просто не хватит энергии преодолеть притяжение черных дыр. По этой причине они должны быть невидимыми, черными, что обусловило их название.

Однако на черные дыры могут падать (пересекать гравитационный радиус) другие объекты, причем для стороннего наблюдателя скорость падающих на черную дыру объектов должна стремиться к скорости света, при этом их масса должна неограниченно расти, а сам процесс падения должен продолжаться бесконечно долго. Любопытно отмстить, что в системе отсчета падающих объектов время достижения ими гравитационного радиуса оказывается конечным.

В силу отсутствия у черных дыр их собственного излучения, предпринимались попытки их обнаружения в космосе по косвенным эффектам. Поскольку падающие объекты разгоняются до околосветовых скоростей, то при их столкновениях можно ожидать жесткое рентгеновское излучение. Предлагалось искать черные дыры как невидимые в оптическом диапазоне источники мощного рентгеновского излучения. В космосе было обнаружено несколько претендентов на черные дыры (см. [191]).

С 60-х – 70-х гг. в литературе, в том числе популярной, широко обсуждается гипотеза черных дыр, но высказывалась и иная позиция, соответствующая универсальному правилу в физике: если в теории в каких-то областях или явлениях возникают бесконечно большие величины, то это нужно воспринимать как сигнал того, что там выводы теории теряют силу. По мнению, высказанному В. А. Фоком и рядом других физиков-гравитационистов, бесконечности на гравитационном радиусе свидетельствуют о границе применимости закономерностей эйнштейновской теории гравитации.

Подтверждение общей теории относительности получено в пределах Солнечной системы и, в частности, Земли. Так, гравитационное притяжение объясняется движением тел по геодезическим линиям. Например, движение планет Солнечной системы по их орбитам можно проиллюстрировать при помощи 2-мерной аналогии реального искривления пространства вокруг Солнца (см. рис. 9.3). Часть воронки, далекая от гравитационного радиуса, может быть уподоблена неглубокой чаше, по краю которой заставили катиться шарик (аналог планеты). Понятно, что этот шарик будет крутиться по поверхности, описывая некую кривую траекторию. Ясно также, что эта траектория в общем случае является незамкнутой. Расчеты показывают, что это будет некоторая розетка, в которой два соседних витка близки друг от друга. Эта розетка, изображенная на рис. 9.4, как бы представляется вид сверху на траекторию, описываемую шариком в чаше-воронке (см. рис. 9.3).

Для далеких планет Солнечной системы различие двух соседних витков чрезвычайно мало, и в некотором приближении их можно считать совпадающими, что соответствует движению планеты по замкнутой орбите ньютоновской теории гравитации — по эллипсу, в фокусе которого расположено Солнце. Для ближней планеты Солнечной системы

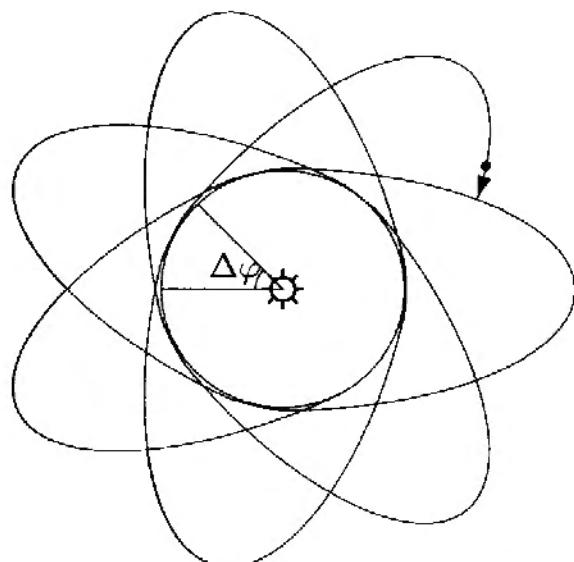


Рис. 9.4. Иллюстрация эффекта смещения перигелия Меркурия

отклонение соседних витков более существенно, и этот эффект (смещение перигелия Меркурия) был обнаружен астрономами уже в конце XIX в., хотя некоторое время для него не могли найти соответствующего объяснения. Оно было получено сразу же после создания общей теории относительности и явилось первым подтверждением эйнштейновской теории гравитации.

Другое подтверждение общей теории относительности было получено в 1919 г. во время наблюдения солнечного затмения. Было показано, что лучи от далеких звезд, проходящие вблизи диска Солнца, искривляются, причем угол их отклонения оказался в два раза больше, чем это предсказывалось ньютоновой теорией гравитации. (Данный эксперимент, разумеется, можно проводить лишь во время солнечного затмения, когда на небе видны звезды.) Впоследствии этот эффект был подтвержден и в других экспериментах, связанных с радиолокацией планет солнечной системы, с наблюдениями отклонений радиосигналов от квазаров, с обнаружением отрицательных параллаксов далеких звезд и т. д.

В задачу данной книги не входит подробный анализ экспериментальных подтверждений общей теории относительности. (Этот вопрос подробно рассмотрен, например, в нашей книге «Геометрофизика» [34].) Хотелось бы только еще раз напомнить, что в общей теории относительности, как и во всякой физической теории, присутствуют все три составляющие: математический аппарат, эксперимент и физическое (философское) осмысление. Некоторых огорчает сравнительно небольшое число экспериментальных подтверждений и приложений этой теории при широком развитии математическом аппарате, однако это компенсируется значительным числом следствий мировоззренческого характера.

9.5. Вселенная в целом. Космология

Общая теория относительности позволила физике выйти на качественно новый уровень в понимании физического мира — в ее рамках можно в принципе ставить и решать задачу описания Вселенной как целого. Конечно, нельзя забывать, что при этом производится экстраполяция наших представлений о мире максимально далеко за пределы изученной области Вселенной, против чего предупреждал Э. Мах. Тем не менее обсуждение подобных задач необходимо, поскольку это может помочь ответить на вопрос, до каких пределов экстраполяция правомерна, когда и каким образом следует изменить наши представления о природе мироздания.

В математическом плане описание Вселенной как целого основано на решении уравнений Эйнштейна (9.2.9), в правую часть которых нужно подставить тензор энергии-импульса всей материи мира: планет, звезд, межзвездной среды и всего прочего. В силу того что все это точно учесть невозможно, рассматривается упрощенная модель.

Во-первых, предполагается, что всю материю мира можно представить в виде сплошной среды наподобие пыли, когда в качестве отдельных пылинок выступают не отдельные звезды и даже не отдельные галактики, а скопления галактик.

Во-вторых, полагается, что, пренебрегая рядом индивидуальных (пекулярных) движений пылинок, можно выбрать сопутствующую материи (скоплениям галактик) систему отсчета, т. е. такую, в которой приборы системы отсчета движутся вместе с матерью.

В-третьих, предполагается, что сопутствующая система отсчета является нормальной, т. е. не вращается. Напомним, что подобные системы отсчета являются преимущественными в общей теории относительности и представляют собой своеобразный аналог инерциальных систем отсчета в ньютоновской механике. Важнейшим свойством нормальных систем отсчета является глобальное расщепление в них 4-мерного искривленного пространства-времени на 3-мерное пространство и ортогональное ему время (данной системы отсчета). В сопутствующей системе отсчета приборы вместе со средой как бы «вморожены» в пространство. Их движение может описываться лишь эволюцией самого пространства.

В-четвертых, когда уже определено глобальное 3-мерное пространство, полагается, что в нем распределение материи — пылинок однородно и изотропно, т. е. материя распределена равномерно вдоль каждого направления и одинаково по всем направлениям. Очевидно, что эти условия не выполняются в масштабах Солнечной системы, отдельной галактики или даже конкретного их скопления, однако по мере увели-

чения масштаба распределение материи все более становится близким к однородному и изотропному.

Решения уравнений Эйнштейна (без космологического члена) при выполнении всех этих условий впервые нашел в 1921 г. наш соотечественник А. А. Фридман. В настоящее время так называемые *однородные изотропные космологические решения Фридмана*, составляющие основу космологии, имеют следующий вид:

$$ds^2 = d\tau^2 - dl^2 \equiv a^2(x^0) \left\{ (dx^0)^2 - [(dx^1)^2 + b^2(x^1)(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2)] \right\}, \quad (9.5.1)$$

где $a(x^0)$ — функция от времени-подобной координаты x^0 , описывающая эволюцию мира, а $b(x^1)$ — функция от одной пространственно-подобной координаты x^1 , характеризующая 3-мерное пространство сопутствующей системы отсчета. Эта функция может иметь три и только три вида, в каждом из которых получается свой вид функции $a(x^0)$. Оказывается, эти три случая соответствуют трем видам геометрий, сыгравшим важную роль в становлении общей теории относительности:

- 1) $b(x^1) = x^1 \equiv r \rightarrow a(x^0) = a_0(x^0)^2$, что соответствует расширяющемуся 3-мерному пространству Евклида с метрикой, записанной в сферических координатах

$$dl^2 = a^2(x^0)[dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2)]; \quad (9.5.2)$$

- 2) $b(x^1) = \operatorname{sh} x^1 \rightarrow a(x^0) = a_0(\operatorname{ch} x^0 - 1)$, где a_0 — константа, — в этом случае речь идет об открытой модели Фридмана с 3-мерным пространством Лобачевского

$$dl^2 = a^2(x^0)[(dx^1)^2 + \operatorname{sh}^2 x^1(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2)]; \quad (9.5.3)$$

- 3) $b(x^1) = \sin x^1 \rightarrow a(x^0) = a_0(1 - \cos x^0)$, где a_0 — константа, — здесь мы имеем закрытую модель Фридмана с 3-мерным пространством Римана (постоянной положительной кривизны)

$$dl^2 = a^2(x^0)[(dx^1)^2 + \sin^2 x^1(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2)]. \quad (9.5.4)$$

Обратим внимание на основные следствия из полученных решений.

1. Характерным свойством этих трех моделей является наличие «начальных» моментов эволюции при $x^0 = 0$, обычно трактуемых как «рождение Вселенной» вследствие взрыва.

2. Все три решения характеризуются тем, что при $x^0 = 0$ плотность материи обращается в бесконечность. В соответствии с общим правилом трактовки бесконечностей в физике, это означает, что в окрестности нуля, «начального момента» эволюции, закономерности общей теории относительности теряют силу и ею можно пользоваться, лишь начиная с какого-то момента $x^0 > 0$.

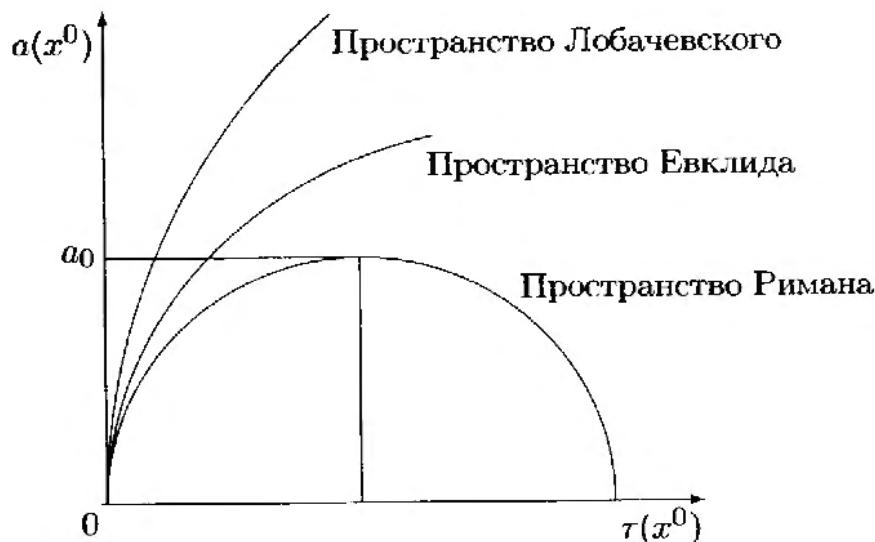


Рис. 9.5. Эволюция трех однородных изотропных космологических моделей Фридмана

3. Все 3-мерные метрики содержат конформный фактор $a(x^0)$, соответствующий изменению во времени пространственного масштаба. При $x^0 > 0$ первые две модели монотонно расширяются, тогда как закрытая модель Фридмана сначала расширяется до максимального радиуса a_0 и затем начинает сжиматься. Зависимости масштабов $a(x^0)$ от физического времени $\tau(x^0)$ приведены на графиках рис. 9.5. Первые две модели мира эволюционируют от начального горячего состояния до холодного состояния при очень больших значениях τ . Закрытая модель Фридмана соответствует развитию от горячего состояния к некоторому охлаждению и опять разогреву до горячего состояния.

4. В конце 20-х гг. XX в. Э. Хабблом было обнаружено красное смещение в спектрах далеких звезд, причем оно оказалось зависящим от расстояния — чем дальше звезда, тем оно больше. Относительное красное смещение характеризуется формулой $\Delta\nu/\nu = -Hl$, где l — расстояние до источника, $H = \dot{a}/a^2$ — постоянная Хаббла, оцениваемая ныне величиной $\sim 6,5 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1}$. Это смещение трактуется как разбегание галактик (точнее, пылинок — скоплений галактик), причем это не означает, что они удаляются от одного центра. Такая закономерность имеет место относительно любого наблюдателя сопутствующей системы отсчета. Учитывая этот факт, на графике изображены только решения, описывающие расширение хотя бы на каком-то этапе эволюции. (Отброшены аналогичные решения, описывающие противоположные сценарии — сжатия мира в сингулярное состояние.)

5. Возникает естественный вопрос: какой из этих трех моделей Фридмана описывается наш мир? Из уравнений Эйнштейна следует, что ответ на него зависит от средней плотности материи во Вселенной.

Имеется критическая плотность вещества во Вселенной

$$\rho_0 = 3H^2/\alpha c^2 \sim 10^{-29} \text{ г}/\text{см}^3. \quad (9.5.5)$$

Если окажется, что плотность $\rho > \rho_0$, то наш мир описывается закрытой космологической моделью Фридмана, если $\rho < \rho_0$, то следует использовать открытую космологическую модель (с 3-мерным пространством Лобачевского); и, если $\rho = \rho_0$, то мы живем в пространстве Евклида.

Средняя плотность наблюдаемых в настоящее время видов материи оценивается значением $\rho \sim 10^{-31} \text{ г}/\text{см}^3$. Экстраполируя эти данные на всю Вселенную, приходим к выводу об их соответствии открытой модели Фридмана, где пространство описывается геометрией Лобачевского. Однако, скорее всего, при оценке ρ учитывается не вся материя. Неоднократно высказывались гипотезы о существовании новых видов материи (черных дыр, нейтрино с неравной нулю массой покоя и других), поэтому по мере их открытия оценка средней плотности будет приближаться к критической. Окончательный вывод делать рано, но ряд астрофизических данных свидетельствует в пользу средней плотности, равной критической, следовательно, наш мир в сопутствующей системе отсчета в среднем плоский. Для согласования наблюдательных данных и общей теории относительности приходится постулировать наличие во Вселенной загадочной «черной энергии», плотность которой примерно на два порядка большие плотности наблюдаемой материи. Вводятся и другие гипотезы типа существования в галактиках не менее загадочной «черной материи».

6. Зная характер эволюции мира, можно сделать некоторые выводы о возрасте Вселенной. Если бы она всегда расширялась в наблюдаемом темпе, то для расширения до современного состояния в сопутствующей системе отсчета понадобилось бы $T_1 \sim 1/H \sim 10^{10}$ лет. На самом деле, как видно из графиков на рис. 9.5, в ранние этапы расширение должно было быть более быстрым, поэтому следует брать значение $T_2 \sim (2/3)T_1$. Это небольшой возраст, сравнимый с оценками возраста земной коры, даваемого геологами. Выход из этого противоречия может быть найден на основе более сложных космологических моделей и учета некоторых дополнительных обстоятельств.

Первое космологическое решение было найдено самим Эйнштейном, однако ему показалось, что оно возможно лишь при добавлении в его уравнения специального космологического члена $\Lambda g_{\mu\nu}$

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R + \Lambda g_{\mu\nu} = \alpha T_{\mu\nu}, \quad (9.5.6)$$

где величина Λ получила название *космологической постоянной*. Полученное им решение описывает статический мир с 3-мерным пространственным сечением, характеризуемым геометрией Римана (с постоянной

положительной кривизной). Узнав о решениях Фридмана, Эйнштейн опубликовал заметку с утверждением, что Фридман ошибся. Благодаря усилиям российских коллег, убедивших Эйнштейна перепроверить вычисления, была опубликована другая заметка с признанием правоты А. А. Фридмана.

Космологическая постоянная может принимать три вида значений: положительное, нулевое и отрицательное. Положительные значения космологической постоянной соответствуют своеобразному космическому отталкиванию, а отрицательные значения — космическому притяжению. Учитывая три вида возможных пространственных сечений (евклидово, гиперболическое и сферическое), имеем 9 вариантов однородных изотропных космологических моделей Вселенной, получающихся из решений уравнений Эйнштейна (9.5.6).

Поскольку космологическая постоянная должна быть чрезвычайно малой по модулю, чтобы не противоречить наблюдениям, то ее, как полагали достаточно долгое время, можно вообще исключить из рассмотрения. Однако в конце XX в. был сделан вывод о необходимости учета этого слагаемого в уравнениях Эйнштейна.

В метафизическом плане особый интерес проявляется к начальным моментам эволюции Вселенной в космологических решениях уравнений Эйнштейна. Некоторые даже утверждают, что общая теория относительности подтвердила творение мира Богом и Библию. По этому поводу сделаем следующие замечания:

Во-первых, космологические решения получены на основе экстраполяции данных, видимых с Земли, на Вселенную в целом, что может оказаться неправомерным.

Во-вторых, космологические решения в окрестностях «начала» имеют сингулярность, что свидетельствует лишь о том, что в этой области эйнштейновская общая теория относительности теряет силу.

В-третьих, нельзя исключать возможность радикального изменения представлений о принципах описания физической реальности, как это неоднократно бывало в прошлом. В частности, переход к монистической парадигме может существенно повлиять на понимание мира в целом.

9.6. Гравитационные волны

С 60-х гг. XX в. научная общественность с большим интересом следила за экспериментальным поиском гравитационного излучения внеземного происхождения. Отметим, что еще до рождения Эйнштейна В. Клиффорд писал о возможности геометрической рыбы, бегущей по почти плоскому пространству. В рамках общей теории относительности исследование такого явления, названного *гравитационными волнами*, было начато самим Эйнштейном в 1918 г. В течение XX в. было выполнено

нено огромное число работ по теоретическому анализу предполагаемого явления, в частности, было предсказано, что гравитационные волны, как и электромагнитные, должны иметь две поляризации, поясненные на рис. 9.6. Если в плоскости волнового фронта поместить круг, то следует ожидать, что воздействие гравитационной волны приведет к волнобразному сжатию точек круга вдоль некоей оси, например x^1 и одновременному расширению вдоль перпендикулярной оси x^2 , затем восстановлению его формы, а потом к расширению вдоль оси x^1 и к сжатию вдоль x^2 и так далее. Для другой поляризации следует ожидать то же самое, но относительно осей, повернутых к первым под углом 45 градусов.

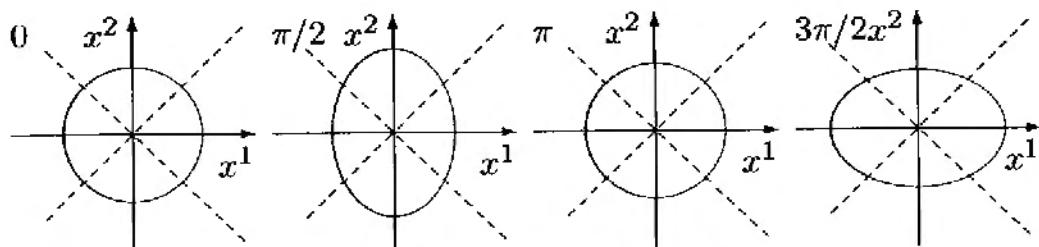


Рис. 9.6. Воздействие гравитационной волны на круг в плоскости волнового фронта

Первые же оценки показали, что реальное гравитационное излучение должно быть чрезвычайно слабым. Долгое время справедливо считалось, что его обнаружение лежит далеко за пределами возможностей эксперимента и что это дело отдаленного будущего. Но в начале 60-х гг. американский физик Дж. Вебер объявил о постановке экспериментов по детектированию гравитационных волн внеземного происхождения. На 3-й Международной гравитационной конференции в Варшаве (1962) он рассказал о параметрах создаваемого им детектора. Затем через три года на следующей конференции в Лондоне Вебер выглядел очень уставшим, так как стремился к началу конференции обнаружить гравитационные волны. Как выяснилось, его установка была столь чувствительной, что реагировала на движение транспорта и индустриальные шумы, поэтому ему приходилось работать по ночам. К 1965 г. Вебер не обнаружил волн, но его эксперимент вызвал живой интерес: в ряде лабораторий мира начали подумывать о создании аналогичных установок.

Наконец, в 1969 г. Дж. Вебер объявил об открытии гравитационного излучения. Научный мир был взволнован, а от Вебера поступали все новые и новые сообщения, из которых следовало, что гравитационные сигналы принимаются им все чаще и чаще: раз в месяц, два раза в месяц... Уже указывалось направление, откуда приходит излучение (центр нашей Галактики), и приводились сведения о его поляризации. Как утверждалось, сигналы принимались одновременно несколькими установками, а для расшифровки данных применялись компьютеры.

Это уже была сенсация, которая попала в газеты, радиопрограммы и научно-популярные журналы, объявившие об открытии нового вида материи, описываемой характеристиками пространства-времени (формы существования материи). Открытие, несомненно, имело философское звучание, но оно вызывало и практический интерес: открывались широкие перспективы, во-первых, для получения дополнительной информации из космоса и, во-вторых, можно было ставить вопрос о новом канале связи, для которого практически не было преград.

Как же отнеслись к этому физики-релятивисты? По-разному. В 1971 г. на 6-й Международной конференции по общей теории относительности и гравитации в Копенгагене многие поверили в открытие, и Вебер чувствовал себя героем. Но возникли ряд серьезных вопросов об источниках столь мощного гравитационного излучения и о причинах излучения в диапазоне частот, на которые была настроена установка Вебера. Теоретики приступили к анализу возможных астрофизических процессов, весьма экзотичных, могущих приводить к таким всплескам излучения. В качестве таковых назывались столкновения черных дыр, падения на них галактик и прочее. Таким образом, Вебер претендовал на двойное открытие: во-первых, самих гравитационных волн и, во-вторых, принципиально новых явлений в космосе.

Но нельзя забывать, что всякое открытие необходимо повторить в других лабораториях и только после его подтверждения рядом исследователей открытие можно считать состоявшимся. Во многих лабораториях мира пытались повторять эксперимент Вебера, но сделать это оказалось нелегко: требовалось создать аппаратуру, по чувствительности превышающую все сделанное к тому времени человеком. В 1972 г. первыми на необходимый уровень чувствительности вышли в МГУ, в лаборатории В. Б. Брагинского, но результаты экспериментов оказались отрицательными. Затем стали поступать сведения из лабораторий США, Англии, Италии и других стран, где данные экспериментов Вебера также не нашли своего подтверждения.

Одновременно проводился теоретический анализ гипотезы гравитационных волн. Так, в монографии В. Д. Захарова на эту тему [63] были рассмотрены различные подходы к определению гравитационных волн: на основе алгебраической классификации Петрова пространств Эйнштейна, референционными методами (используя понятия систем отсчета), в линеаризованной теории и др. Анализ показал, что проблема определения гравитационных волн неразрывно связана с еще двумя принципиальными проблемами общей теории относительности: определением энергии гравитационного поля (решение проблемы законов сохранения) и проблемой квантования гравитационного поля. Эти проблемы, так и не решенные в XX в., относятся к парадигмальным

проблемам, поскольку затрагивают понятия из двух различных миропониманий: теоретико-полевого и геометрического.

Интерпретации экспериментов с гравитационными волнами опираются на посылку о том, что они аналогичны давно освоенному электромагнитному излучению. Последнее описывается волновыми уравнениями в плоском пространстве-времени Минковского, волновые решения которых находятся в виде функций от $t - r/c$, где c — скорость света. Для случая гравитации необходимо выделить волновые решения именно уравнений Эйнштейна, при этом еще нужно указать общековариантный или референционный критерий его волнового характера. Было предложено много критериев, как алгебраических (общековариантных), так и референционных, связанных с определением системы отсчета, но ни один из них не был признан удовлетворительным. Проще говоря, физики до сих пор не умеют даже корректно поставить задачу: какое искривленное пространство-время следует назвать полем гравитационной волны?

На 4-й Всесоюзной гравитационной конференции в Минске (1975) собрались представители ведущих гравитационных лабораторий мира, рассказавших о своих исследованиях в этой области. После конференции было заключено шутливое пари на наиболее точное предсказание времени обнаружения гравитационных волн. Как рассказывал профессор М. Ф. Широков, рефери этого пари, назывались разные сроки: три года, десять и более лет. А физик-теоретик И. Бергман, в свое время сотрудничавший с А. Эйнштейном, сказал: «Никогда!»

С тех пор прошло уже более тридцати лет. Были разные заявления. (Вебер продолжал упорствовать на открытии «неких» эффектов.) В том числе было объявлено о косвенном подтверждении существования гравитационного излучения от кратных астрофизических объектов, однако прямого обнаружения гравитационных волн до сих пор нет, несмотря на большие затраты на эти эксперименты. В научных кругах ходила шутка: «Господин Вебер гравитационных волн не открыл, но зато открыл источники финансирования их исследований».

9.7. Обобщения римановой геометрии

Как Эйнштейну, так и другим исследователям было ясно, что общая теория относительности не полна в том смысле, что в ее рамках удалось геометризовать лишь гравитационное взаимодействие. Остро ощущалась необходимость геометризации, по крайней мере, еще одного взаимодействия, медленно убывающего с расстоянием, — электромагнитного.

1. Попытки Германа Вейля решить эту проблему увенчались важным математическим результатом, сравнимым с открытием первой неевклидовой геометрии в первой трети XIX в., — уже в 1918 г. он открыл

первую нериманову геометрию (геометрию с неметричностью или с *сегментарной кривизной*). Суть этой геометрии состоит в том, что в ней, в отличие от римановой геометрии, векторы (тензоры) при параллельном переносе меняют свою длину. Вейль попытался связать это свойство геометрии с наличием электромагнитного поля. Получилась достаточно любопытная теория, в рамках которой были введены и другие важные для физики понятия, такие как конформные преобразования, тензор Вейля и другие. Однако анализ этой теории показал ее непригодность для целей геометризации электромагнетизма.

Следует отметить, что Вейль использовал частный, так называемый *сыроэжденный* случай геометрии с неметричностью, когда обобщенная ковариантная производная от метрического тензора представляется в виде произведения двух тензоров $\nabla_\sigma g_{\mu\nu} = A_\sigma g_{\mu\nu}$, где A_μ с точностью до коэффициента отождествлялось с векторным потенциалом электромагнитного поля. Вскоре А. С. Эдингтоном было показано, что для данной цели можно использовать общий случай геометрии с *сегментарной кривизной*.

2. В 1922 г. математик Эли Картан сделал другое важное открытие в геометрии, сравнимое с открытием второй неевклидовой геометрии Риманом, — была обнаружена вторая нериманова геометрия с *кручением*. Она характеризуется антисимметричной частью коэффициентов связности, т. е. к символам Кристоффеля в (9.2.8) добавляется антисимметричный по нижним индексам тензор кручения. В такой геометрии нарушается всем известное из школьной программы правило параллелограмма при сложении векторов.

Выделим несколько интересных случаев геометрии с кручением, применявшимся для построения обобщенных теорий гравитации более подробно см. [183]).

- А. В ряде работ физиков-гравитационистов, в том числе и Эйнштейна, исследовались геометрии с *абсолютным параллелизмом*. Они примечательны тем, что в них кривизна компенсируется кручением, так что результирующий тензор кривизны равен нулю, как в плоском пространстве-времени.
- Б. Известно, что Эйнштейн перепробовал множество вариантов единых теорий гравитации и электромагнетизма. В последние годы жизни с этой целью он исследовал геометрию с несимметричной метрикой, когда обобщенный метрический тензор представляется в виде симметричной и антисимметричной частей

$$\tilde{g}_{\mu\nu} = g_{\mu\nu} + C F_{\mu\nu}, \quad (9.7.1)$$

где $F_{\mu\nu}$ — тензор напряженности электромагнитного поля, C — некий размерный коэффициент. Такую теорию можно понимать как специальный случай геометрии с кручением.

В. Имелись работы, в которых исследовались геометрии с кручением вне связи с проблемой геометризации электромагнетизма. Так была развита теория Эйнштейна—Картана, в которой в качестве источника кручения выступает момент количества движения. Для отдельных частиц это их спин.

3. В начале 30-х гг. Я. А. Схоутен, проанализировав результаты своих предшественников по неримановым геометриям, сформулировал систему самых общих требований, предъявляемых к дифференциальным геометриям, и показал, что все такие возможные геометрии можно охарактеризовать *тремя и только тремя тензорными величинами — схоутенами*: сегментарной кривизной (тензором неметричности Вейля), тензором кручения и разностью коэффициентов связности для параллельного переноса ко- и контравариантных величин.

Любопытно отметить, что и здесь опять проявляется троичность ключевых величин. Поскольку каждый из схоутенов может быть трех видов: нулевым, вырожденным или произвольным, то возможны $3^3 = 27$ типов дифференциальных геометрий, из которых риманова геометрия, использованная для построения эйнштейновской общей теории относительности, является простейшей, так как характеризуется нулевыми значениями всех трех схоутенов.

4. Следует отметить, что физики исследовали также другой канал обобщения римановой геометрии — так называемые *финслеровы геометрии*. Они опираются на более общие, нежели квадратичные в римановой геометрии (9.2.6), способы записи метрики (корень квадратный из квадратичной формы). Начало этому направлению исследований было положено самим Риманом в его знаменитом мемуаре «О гипотезах, лежащих в основании геометрии», где он писал, что элементом длины мог бы служить и корень четвертой степени из формы четвертого порядка, хотя соответствующая геометрия и была бы более сложной.

В 1918 г. следующий важный шаг в развитии таких геометрий был сделан Паулем Финслером. Хотя сейчас нет вских экспериментальных оснований для перехода от римановой геометрии к финслеровой, тем не менее активно ведущаяся разработка финслерова обобщения теории гравитации является интересным направлением исследований. Здесь следует особо отметить исследования Д. Г. Павлова (см. [121, 122]) специального вида финслеровых геометрий Бервальда—Моора, в которой постулируется мероопределение в виде корня четвертой степени из своеобразной формы четвертого порядка. Переход к теории подобного вида может оказаться оправданным, если будет обнаружена анизотропия свойств пространства в больших масштабах.

5. Имеется серия работ по исследованию так называемых *биметрических теорий гравитации*, в которых используется не одна мет-

рика, как во всех ранее упоминавшихся геометриях, а две, т. е. два метрических тензора $g_{\mu\nu}$ и $\hat{g}_{\mu\nu}$. Наиболее известна биметрическая теория Н. Розена, где вторая метрика вводится постулативно. Отличительная особенность подобных теорий заключается в том, что разность символов Кристоффеля, образованных из соответствующих метрик, является тензорной величиной, которую предлагаются использовать для описания гравитации.

Серьезные возражения против таких теорий связаны с неясностью физического смысла и с проблемой наблюдаемости второй метрики. Упомянем здесь также вариант теории гравитации, развиваемой Н. А. Черниковым, который основан не на двух метриках, а на двух видах коэффициентов связности.

6. В 70-х гг. ХХ в. довольно популярными были так называемые скалярно-тензорные теории гравитации, в которых к метрическому тензору $g_{\mu\nu}$ добавлено еще скалярное поле φ , что и определило их название. Начало этому направлению положили исследования 5-мерных геометрических теорий Калуцы–Клейна. Затем пятымерие было отброшено, а скалярное поле стало рассматриваться как самостоятельное. Эти исследования были начаты в 40-х гг. в работах П. Йордана, Дж. Тирри и других авторов. Более подробный вариант теории был развит К. Брансом и Р. Дикке в начале 60-х гг., поэтому наиболее распространенный вариант таких теорий называется теорией Йордана–Бранса–Дикке.

В скалярно-тензорных теориях гравитации проявляется ряд интересных особенностей. Например, гравитационная постоянная присутствует в комбинациях со скалярным полем, что позволяет реализовать гипотезу Дирака о переменности гравитационной константы. Кроме того, в такой теории возникает эффективная (через скалярное поле) зависимость масс частиц от места их расположения.

7. Физические теории в искривленных (обобщенных) пространственно-временных многообразиях можно строить по образу и подобию теорий теоретико-полевого видения мира, т. е. на основе вариационного принципа, тем или иным способом задавая лагранжиан гравитационного поля. Для получения эйнштейновской теории гравитации и ряда ее обобщений в качестве лагранжиана выбирается скалярная кривизна ($R = R_{\mu\nu}g^{\mu\nu}$). Однако имеется ряд работ, где исследовались варианты теории, построенные на основе квадратичных лагранжианов из тензора кривизны. В частности, такой вариант обобщения гравитации обсуждался в работах А. Д. Сахарова.

Здесь названы далеко не все исследовавшиеся варианты обобщений эйнштейновской теории гравитации. Например, обсуждались многочисленные комбинации из названных выше обобщений, в частности, теории с неметричностью и кручением, квадратичные теории с кручением, с неметричностью и т. д.

Исследования *многомерных геометрических моделей* единой теории гравитации и других физических взаимодействий будут рассмотрены в гл. 10.

9.8. Некоторые выводы и замечания

Опираясь на изложенный материал, подведем некоторые итоги исследований в рамках общей теории относительности и, что особенно важно, отметим ряд метафизических аспектов этой теории.

9.8.1. Выводы из исследований общей теории относительности

1. В основание общей теории относительности положены три блока идей:

- 1) описание событий (объектов рассмотрения теории) в рамках 4-мерного пространственно-временного многообразия;
- 2) риманов (нежесткий) характер метрики, позволяющий учитывать влияние на соотношения между событиями (на метрику) со стороны окружающего мира. В начальном понимании Эйнштейном сущности его теории это было названо принципом Маха;
- 3) ключевая роль систем отсчета, позволяющих интерпретировать понятия и следствия теории относительно конкретного наблюдателя.

2. Основные дискуссии в общей теории относительности велись вокруг трех групп следствий из решений уравнений Эйнштейна, тесно связанных с тремя ключевыми физическими категориями:

С *категорией частиц* следует соотнести проблему особенностей в частицеподобных решениях (для метрик, создаваемых компактными материальными источниками), в частности, проблему сингулярностью (с гравитационным радиусом) в метрике Шварцшильда. Отметим, что самый общий случай частицеподобных решений характеризуется семью константами: массой m (гравитационным радиусом $r_0 = 2mG/c^2$), электрическим зарядом q , магнитным зарядом g , параметром Керра a , характеризующим вращение источника, ускорением b , параметром НУТ (Ньютона, Унти, Тамбурино) n (мнимой массой?), космологической постоянной Λ . Учет нескольких констант оказывается на характере особенностей решений.

3. С *категорией пространства-времени*, точнее, с ее глобальными свойствами, связан выбор одной из возможных космологических моделей. Примечательно, что для однородных изотропных космологических моделей имеются три возможности, соответствующие трем класс-

сическим геометриям: Евклида, Лобачевского и Римана (пространства постоянной положительной кривизны).

4. Следует более подробно остановиться на проблеме гравитационных волн. Обнаружение гравитационных волн предполагает энергетическое воздействие их на прибор, но в XX в. не было предложено удовлетворительного выражения для энергии «гравитационного поля», поскольку законы сохранения в искривленном пространстве-времени удается ввести лишь на основе псевдотензорного подхода, когда энергия и импульс «гравитационного поля» не описываются тензорными величинами. Посредством чисто математической процедуры преобразований координат энергию «гравитационного поля» (волны) можно менять в широких пределах. Возникает вопрос: что же тогда может измерить экспериментатор?

5. Отметим, что отсутствие законов сохранения энергии и импульса в общей теории относительности не означает их нарушений, — до сих пор не было указано ни одного даже мысленного эксперимента, свидетельствовавшего бы о таком нарушении. К альтернативе: сохраняется энергия или не сохраняется, — в общей теории относительности добавляется третье решение — законы сохранения энергии и импульса теряют смысл. Их существование связано с симметриями пространства и времени, а в произвольно искривленном пространстве-времени их нет. Да законы сохранения и не нужны для решения корректно поставленных задач в рамках общей теории относительности. Проблема с законами сохранения возникает лишь при попытках рассмотрения некорректно поставленных задач в эйнштейновской теории гравитации, как то — описания гравитационных волн или квантования гравитации.

6. Одним из важнейших результатов общей теории относительности является открытие А. З. Петровым алгебраической классификации пространств Эйнштейна, согласно которой все возможные решения уравнений Эйнштейна делятся на три класса (*типа*). При этом первый класс (T_1) образован тремя подтипами, второй (T_2) — двумя, а третий (T_3) — одним. В работах Р. Пенроуза классификации Петрова была придана наглядная иллюстрация в виде диаграммы Петрова—Пенроуза, изображенной на рис. 9.7. Стрелками обозначены переходы между подтипами. Сферически симметричные (частицеподобные) решения Шварцшильда и иные, а также однородные изотропные космологические модели Фридмана принадлежат подтипу D первого типа (класса). В многочисленных работах 60-х — 70-х гг. дискутировался вопрос, к какому подтипу отнести волновые решения уравнений Эйнштейна. Однозначного ответа не было дано, но большинство алгебраических критериев указывало на подтип N.

Не вдаваясь в математические тонкости алгебраической классификации Петрова, отметим, что она основана на возможности представле-

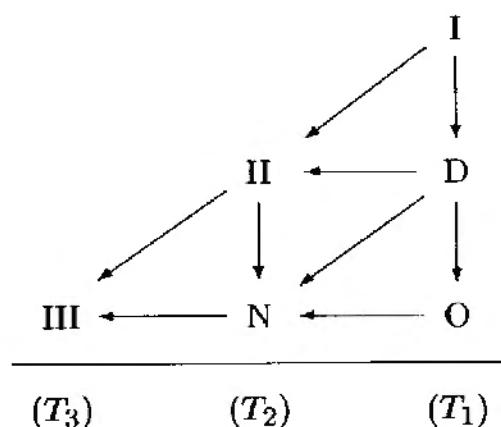


Рис. 9.7. Диаграмма Петрова–Пенроуза, поясняющая алгебраическую классификацию пространств Эйнштейна

ния всех компонент тензора кривизны (тензора Римана–Кристоффеля $R^{\alpha}_{\beta\mu\nu}$ или тензора Вейля) в виде комплексной 3×3 -матрицы и на анализе собственных векторов и собственных значений этой матрицы.

7. В течение XX в. принципы классической теории гравитации и ее возможности (в сфере корректно поставленных в ней задач) подверглись достаточно серьезному и тщательному анализу. Можно утверждать, что в концептуальном плане к концу XX в. эйнштейновская теория гравитации потеряла свой фундаментальный статус и исследования в ее рамках приобрели характер решения трудоемких задач математической физики: решений систем нелинейных дифференциальных уравнений с частными производными и изучению их свойств. Центр тяжести исследований переместился к проблемам релятивистской астрофизики (в рамках искривленного пространства-времени), к вопросам совмещения принципов общей теории относительности и физики микромира, а также к изучению возможностей названных выше обобщений классической эйнштейновской теории гравитации.

8. Теоретический анализ возможных обобщений эйнштейновской теории показал, что, как правило, все они содержат общее устойчивое ядро закономерностей в виде общей теории относительности, что свидетельствует о фундаментальном характере метрических отношений.

9.8.2. Замечания метафизического характера

Из исследований общей теории относительности в течение XX в. можно сделать следующие выводы метафизического характера.

1. Общая теория относительности построена в рамках дуалистической метафизической парадигмы, где категории пространства-времени и гравитационного поля объединены в обобщенную категорию искривленного (риманова) 4-мерного пространства-времени, тогда как третья

категория частиц остается самостоятельной и учитывается в виде правой части уравнений Эйнштейна. Эта парадигма представляет собой первый (упрощенный) вид геометрического миропонимания, который проиллюстрирован на рисунке III, где одна (задняя) заштрихованная грань куба олицетворяет обобщенную категорию искривленного (4-мерного) пространства-времени, а направленная на нас координатная ось соответствует категории частиц.

2. Аналогично тому как в теоретико-полевом миропонимании обобщенная категория поля амплитуды вероятности оказалась трудной для восприятия, так и в геометрическом миропонимании возникают трудности в наглядном представлении обобщенной категории искривленного пространства-времени. Ее можно как-то представить, лишь используя аналогии с искривленными 2-мерными поверхностями в пространстве трех измерений. Как в квантовой механике волновые уравнения и другие правила позволяли работать с новой загадочной категорией, так и в случае общей теории относительности это достигается с помощью уравнений Эйнштейна.

3. В период, когда господствующей была идеология диалектического материализма, трудно было втиснуть содержание общей теории относительности в прокрустово ложе ее понятий. С чем имеет дело теория гравитации: с новым видом (гравитационной) материи или с формой ее существования? С одной стороны, гравитация многими трактуется как поле, значит является материей, а с другой стороны, нет поля как отдельной сущности, вложенной в пространство-время, поскольку гравитация описывается характеристиками формы существования материи. В философии диалектического материализма третьего было не дано.

В 1964 г. в Киеве на Всесоюзном симпозиуме «Философские проблемы теории тяготения Эйнштейна и релятивистской космологии» развернулась характерная для того времени дискуссия между ведущими тогда советскими гравитационистами, которые пытались рассуждать в рамках господствующей идеологии. Так, профессор А. З. Петров утверждал: «Поле гравитации — это особый вид материи и потому она, как таковая, проявляет себя в движении и не может двигаться иначе, как в пространстве-времени» [129]. Профессор М. Ф. Широков ему возражал: «С философской точки зрения поля тяготения и инерции, как проявления геометрических свойств пространства и времени, следует считать формами существования материи, а не материей» [196]. А профессор Д. Д. Иваненко заявил, что гравитация — частично новый вид материи, а частично — форма существования материи [72].

Все бы встало на свои места, если бы допустили существование не двух категорий (материи и формы ее существования), а трех начал,

два из которых в общей теории относительности объединены в новую категорию искривленного пространства-времени.

4. Общая теория относительности представляет собой лишь первый шаг на пути реализации клиффордовской программы геометризации всей физики. В ней геометризовано лишь гравитационное поле, тогда как все прочие поля и частицы представляют собой негеометризуемую материю, учитываемую правой частью уравнений Эйнштейна. Этот недостаток осознавался как самим Эйнштейном, так и другими исследователями, стремившимися его преодолеть на пути геометризации электромагнитного и других полей. Этот вопрос более подробно рассмотрен в следующей главе.

5. Поскольку в физике XX в. велись исследования как в рамках теоретико-полевой, так и геометрической парадигм, то неизбежно возникали перемешивания понятий из теорий разных парадигм. С одной стороны, в теоретико-полевом подходе стремились рассматривать также и гравитационное взаимодействие. С другой стороны, в рамках общей теории относительности другие виды взаимодействий включались в правую часть уравнений Эйнштейна. Все это привело к появлению так называемых парадигмальных проблем, состоящих в том, что понятия одной парадигмы не вписывались в круг понятий другой парадигмы. К таким парадигмальным проблемам следует отнести проблему с законами сохранения, определения гравитационных волн, а также проблему квантования гравитации. Над решением этих проблем бились в течение всего XX в., однако они так и не были решены в рамках традиционно рассматриваемых теоретико-полевой и геометрической парадигм.

Глава 10

Многомерность физического мира

Общая теория относительности не в полной мере решает задачу геометризации взаимодействий: в ней это делается лишь для одного из известных физических взаимодействий — гравитационного. Но идеология геометрического миропонимания диктует распространение ее принципов и на другие виды взаимодействий. В XX в. решению этой проблемы уделялось значительное внимание, причем интерес к ней то возрастал и она становилась в центре внимания, то затухал. Порой даже отрицалась правомерность постановки этой задачи. К концу XX в. эта проблема вновь заняла достойное место в мировых исследованиях, и в настоящее время есть все основания полагать, что в принципиальном

(П-В) Пространство-время

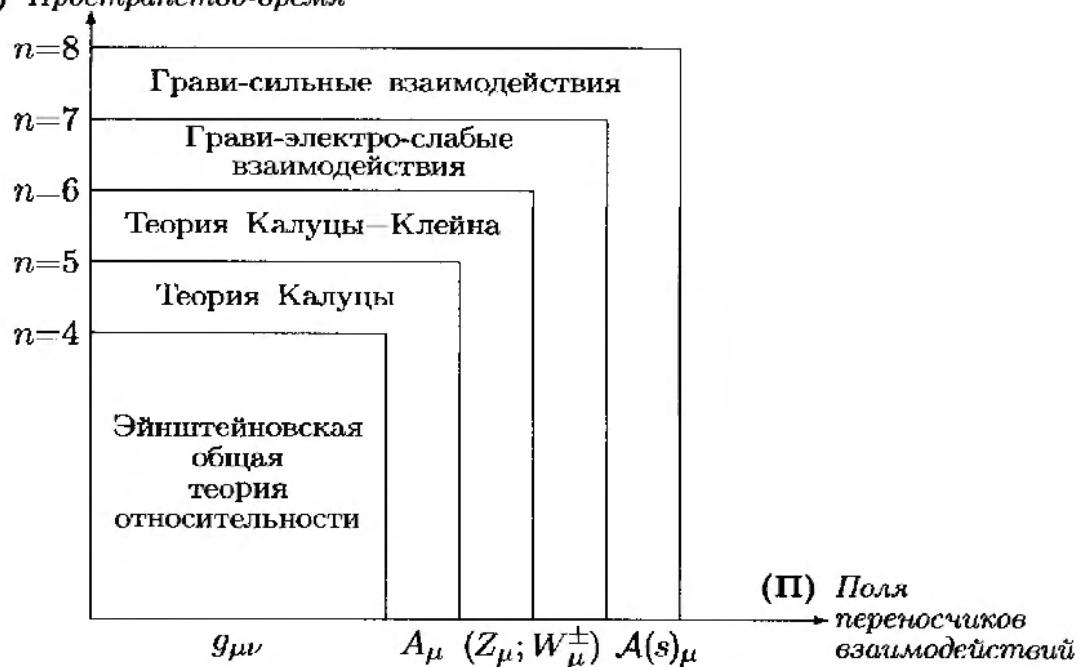


Рис. 10.1. Размерность пространства-времени и геометризация физических взаимодействий

плане эта проблема уже решена. В данной главе рассматриваются концептуальные вопросы многомерных геометрических моделей (теорий) известных видов физических взаимодействий.

Обратимся к кубу физической реальности и рассмотрим его со стороны задней грани, олицетворяющей геометрическое миропонимание. Отложим вдоль вертикальной оси, соответствующей категории пространства-времени, размерности геометрической теории (модели), а на горизонтальной оси, соответствующей категории полей переносчиков взаимодействий, отметим геометризуемые поля: электромагнитное A_μ , поля слабых взаимодействий Z_μ , W_μ^\pm , переносчики сильных взаимодействий — глюонные поля A_N . Тогда заднюю грань куба можно представить разбитой на несколько вложенных друг в друга разновеликих квадратов (см. рис. 10.1). Малый квадрат соответствует 4-мерной общей теории относительности, геометризующей гравитацию; следующий за ним квадрат — 5-мерной геометрической модели гравитационных и электромагнитных взаимодействий Калуцы; и, наконец, последний квадрат — геометрическим моделям грави-электрослабых и грави-сильных взаимодействий еще больших размерностей, которые рассматриваются в данной главе.

10.1. Становление идеи о многомерности пространства

Появление представлений о многомерности пространства является важной вехой в развитии учения о природе физического пространства-времени, стоящей в одном ряду с открытием неевклидовых геометрий. Рождение многомерного подхода часто связывают с публикацией статьи Т. Калуцы 1921 г. [77], однако высказанные в ней идеи были подготовлены трудами многих предшественников.

1. Трудно сказать, кому здесь принадлежит приоритет. Размышления о природе размерности можно найти у И. Канта, который высказал идею о тесной связи трехмерности пространства с характером зависимости физических сил (гравитационных и электростатических) от расстояния между взаимодействующими телами — обратно пропорционально квадрату расстояния. Кроме того, он допускал возможность существования многомерных пространств: «Если возможно, чтобы существовали протяжения с другими измерениями, то весьма вероятно, что Бог где-то их действительно разместил».

2. Вполне отчетливо идеи многомерности были сформулированы в работах математиков XVIII—XIX вв. Так, о возможности рассмотрения времени как четвертого измерения писал Ж. Даламбер. Многомерные конфигурационные пространства обобщенных координат вводил в своих работах Ж. Л. Лагранж. Далее следует назвать труды

Б. Римана, Г. Грассмана, А. Кэли и многих других. Но логика развития математики такова, что всякая красивая математическая идея или структура рано или поздно «примеряется» к явлениям различных областей естествознания.

3. Особо следует подчеркнуть роль Б. Римана, который ввел в своем знаменитом мемуаре «О гипотезах, лежащих в основании геометрии» понятие «*n*-кратно протяженной величины»: «Я поставил перед собой задачу, — писал он, — исходя из общего понятия о величине, сконструировать понятие многократно протяженной величины. Мы придем к заключению, что в многократно протяженной величине возможны различные мероопределения, и что пространство есть не что иное, как частный случай трижды протяженной величины» [143, с. 18].

Этот мемуар посвящен обсуждению метрических свойств *n*-кратно протяженных величин, и в нем мы еще не находим явного указания на возможность скрытых размерностей реального пространства. Однако здесь проявляется характерное для Римана стремление связать геометрические свойства пространства с эмпирическими данными, ставится вопрос о возможности изменения привычных представлений о нем: «Их правдоподобие (которое, как бы то ни было, очень значительно в пределах наблюдения) надлежит подвергнуть исследованию и затем судить о том, могут ли они быть распространены за пределы наблюдения как в сторону неизмеримо большего, так и в сторону неизмеримо малого» [143, с. 19]. Хотя у Римана речь идет в основном о метрических отношениях, такой взгляд на геометрию в совокупности с соседствующим понятием «*n*-кратно протяженных величин» невольно наводит на мысль о распространении его и на свойство размерности пространства в малом.

4. Эта идея позднее была развита Э. Махом, который в своей книге «Познание и заблуждение» писал: «Но если мы оперируем с абстрактными вещами, как-то атомами и молекулами, которые по самой своей природе своей *не могут быть даны нашим чувствам*, мы не имеем более *никакого* права обязательно мыслить эти вещи в отношениях, в относительных положениях, соответствующих евклидову трехмерному пространству нашего чувственного опыта. (...) Находясь еще под влиянием атомистической теории, я попытался однажды объяснить спектральные линии газов колебаниями друг относительно друга атомов, входящих в состав молекулы газов. Затруднения, на которые я наткнулся при этом, навели меня в 1863 г. на мысль, что *нечувственны* веци не должны быть обязательно представляемы в нашем *чувственном* пространстве трех измерени. Таким путем я пришел к мысли об аналогах пространства различного числа измерений» [105, с. 417].

В другом месте, обсуждая работы Гербарта, Мах написал пророческие слова: «Ограничение у него конструкции пространства тремя измерениями совершенно лишено основания, и именно на этот пункт

следовало бы обратить преимущественное внимание. По истечении целого столетия именно такие вопросы могли бы получить совершенно новую физиономию» [105, с. 446]. Это весьма примечательное высказывание, если иметь в виду современные исследования по многомерным единым теориям физических взаимодействий. Конечно, сейчас необходимо учитывать разницу в уровне знаний XIX в. и рубежа XX и XXI вв. и вносить поправки в утверждения о ненаблюдаемости атомов и молекул. Соображения Маха о многомерном способе описания атомов теперь можно распространить и на элементарные частицы.

5. Следует отметить, что Э. Мах как исследователь формировался под влиянием немецкой физической школы, доминировавшей в мировой физике середины XIX в. Подобные взгляды на размерность пространства высказывались тогда рядом представителей этой школы, к которой примыкали Б. Риман и К. Гаусс. Так, К. Ф. Целльнер в своем сочинении «Электродинамическая теория материи» выдвинул гипотезу, «согласно которой многие явления, для которых физика еще не нашла адекватного объяснения, на самом деле происходят в четырехмерном мире. При этом наши органы чувств фиксируют своего рода проекцию «четырехмерных процессов на трехмерный мир»» (цит. по [15, с. 244]). Целльнер ссылался на работы Римана и к четырехмерным процессам относил не только гравитационные и электрические взаимодействия, но и спиритические явления.

6. В трудах Феликса Клейна 90-х гг. XIX в. была высказана идея, которая найдет свое воплощение в работах ряда физиков XX в.: «Каждая механическая задача о движении материальной точки с помощью пространства высшего числа измерений может быть сведена к определению пути светового луча, проходящего в соответствующей среде» (цит. по [146, с. 11]). Как писал Ю. Б. Румер, «в примечании Клейн указывает, что в лекциях, читанных в 1891 г. в Геттингене, он вывел всю теорию Гамильтона—Якоби из системы квазиоптических представлений в пространстве высшего числа измерений. Десять лет спустя он с горечью отмечает, что эти идеи, изложенные на съезде естествоиспытателей в Галле „не встретили того общего признания, на которое я рассчитывал“» [146]. Спустя полстолетия на идеи Ф. Клейна опирался Ю. Б. Румер.

7. Идея многомерия оказалась необходимой для создания специальной теории относительности, но не в духе увеличения числа пространственных измерений, как это мыслилось в XIX в., а в виде объединения трех пространственных и одного временного измерения в рамках одного 4-мерного многообразия.

8. Можно полагать, что для развития идеи о многомерности пространства-времени оказалась важной попытка Г. Нордстрема в 1914 г. построить единую 5-мерную теорию гравитации и электромагнетизма

в плоском пространстве-времени специальной теории относительности. Эта теория оказалась несостоятельной из-за того, что с ее помощью не удалось объяснить эффект отклонения света, проходящего вблизи Солнца. Однако неудачи в теоретических построениях такого рода нельзя судить слишком строго. Пусть теория Нордстрема оказалась ошибочной, но содержащаяся в ней идея перехода к 5-мерному пространству-времени была плодотворной. Возможно, именно эта работа послужила звеном между идеями Маха и классической работой Калуцы.

10.2. Суть 5-мерной теории Калуцы и ее «чудеса»

В 1919 г. сразу же после создания общей теории относительности Теодор Калуца предложил геометризовать электромагнитное поле в духе эйнштейновской теории тяготения посредством увеличения в ней числа пространственных координат на единицу. По сути дела был сделан следующий шаг по ступеням размерности от теоремы Пифагора и ее обобщений, о которых говорилось в разд. 9.2. В упомянутой работе Нордстрема была увеличена размерность на единицу (до пяти) плоского пространства-времени, а в работе Калуцы, опубликованной в 1921 г.¹⁾, оно было искривлено.

Основная идея Калуцы состояла в переходе от 4-мерной римановой геометрии к 5-мерной, когда квадрат интервала представляется в виде

$$ds^2 \rightarrow dI^2 = G_{AB} dx^A dx^B \quad (A, B = 0, 1, 2, 3, 5), \quad (10.2.1)$$

где G_{AB} — 5-мерный метрический тензор, имеющий теперь уже 15 компонент. Десять компонент с 4-мерными индексами соответствуют метрическому тензору $g_{\mu\nu}$ эйнштейновской теории гравитации, а четыре дополнительные компоненты $G_{5\alpha}$ Калуца предложил отождествить с компонентами электромагнитного векторного потенциала

$$A_\alpha = \frac{c^2}{2\sqrt{G}} G_{5\alpha}. \quad (10.2.2)$$

Здесь c — скорость света, G — ньютоновская гравитационная постоянная, греческие индексы, как и ранее пробегают четыре значения: 0,

¹⁾Известно, что первый вариант статьи Т. Калуцы был прислан на отзыв А. Эйнштейну в начале 1919 г. Эйнштейн в своем письме Калуце писал 21 апреля 1919 г.: «Сама идея, что величины электрического поля взаимосвязаны (...) также часто и неизменно занимали меня. Однако мысль, что это может быть достигнуто посредством введения 5-мерного цилиндрического мира, никогда не приходила мне в голову и кажется совершенно новой. Ваша идея мне сразу очень понравилась...» (цит. по [30, с. 65]). Однако у Эйнштейна были замечания и вопросы по работе (которые, кстати сказать, стояли перед физиками в течение нескольких последующих десятилетий). Эйнштейн дал добро на публикацию статьи Калуцы лишь спустя два с половиной года. Она была опубликована в конце 1921 г. [77].

1, 2, 3. Таким образом, одной и той же тензорной величиной G_{AB} описывалось как эйнштейновское гравитационное, так и максвелловское электромагнитное взаимодействия, т. е. полагалось

$$G_{AB} = \left(\begin{array}{cccc|c} G_{00} & G_{01} & G_{02} & G_{03} & G_{05} \\ G_{10} & G_{11} & G_{12} & G_{13} & G_{15} \\ G_{20} & G_{21} & G_{22} & G_{23} & G_{25} \\ G_{30} & G_{31} & G_{32} & G_{33} & G_{35} \\ \hline G_{50} & G_{51} & G_{52} & G_{53} & G_{55} \end{array} \right) \rightarrow \left(\begin{array}{c|c} g_{\alpha\beta} & A_\alpha \\ \hline A_\beta & G_{55} \end{array} \right). \quad (10.2.3)$$

Еще одна, 15-я компонента $G_{55} = -\varphi^2$ может соответствовать дополнительному геометрическому скалярному полю.

Но объявить о данной физической интерпретации компонент метрики мало, — это еще нужно обосновать, что и было сделано посредством обобщения уравнения Эйнштейна (9.2.9) на случай 5-мерного пространства-времени. Анализ показал, что предложенная Калуцей 5-мерная теория опирается на три основных положения. Во-первых, это уже отмеченный факт увеличения размерности от четырех до пяти. Во-вторых, нужно было допустить, что пятое измерение существенно отличается от четырех классических. В частности, это заключается в независимости всех компонент 5-мерной метрики G_{AB} от пятой координаты. Это так называемое условие цилиндричности по x^5 . В-третьих, оказалось необходимым разработать специальные методы проецирования 5-мерных величин и соотношений на классическое 4-мерное пространство-время, аналогично тому, как для физической интерпретации общей теории относительности нужно было использовать методы задания системы отсчета, т. е. проецирования на 3-мерное пространство. У Калуцы еще не было такой корректно разработанной методики, она появилась позже. А тогда эта задача была решена, если можно так сказать, в первом приближении. Но, тем не менее, Калуцей были получены чрезвычайно важные результаты, которые в литературе часто именуют «чудесами Калуцы»:

- 1) Оказалось, что пятнадцать 5-мерных уравнений Эйнштейна распадаются на систему из десяти обычных 4-мерных уравнений Эйнштейна, на четыре уравнения Максвелла (из второй пары уравнений) и остается еще одно («лишнее») уравнение для скалярного поля.
- 2) В десяти 4-мерных уравнениях Эйнштейна, записанных для 5-мерного вакуума (электровакуума), автоматически возникает тензор энергии — импульса электромагнитного поля, который в теории Эйнштейна приходилось вводить в правую часть волновым образом. При этом из принципа соответствия со стандартной теорией следовал вывод, что координата x^5 обязательно должна быть пространственно-подобной. Таким образом, в теории Ка-

луцы речь шла о 4-мерном пространстве, существование которого пророчески предсказывалось рядом авторов в XIX в.

- 3) Четыре из пяти 5-мерных уравнений геодезической (экстремальной) линии (непосредственного обобщения уравнений (9.2.8)) совпадают с известными 4-мерными уравнениями движения заряженной частицы в гравитационном и электромагнитном полях, если предположить, что пятая компонента 5-мерной скорости имеет смысл отношения электрического заряда q частицы к ее массе m

$$\frac{dx^5}{ds} = -\frac{2}{\sqrt{G}} \frac{q}{m}, \quad (10.2.4)$$

а пятая компонента импульса с точностью до коэффициента приобретает смысл электрического заряда $p^5 = m dx^5/ds = -(2\sqrt{G})q$. Пятое уравнение геодезической линии тогда означает постоянство отношения q/m .

- 4) Известное в электродинамике калибровочное преобразование электромагнитного потенциала

$$A'_\alpha \rightarrow A_\alpha + \frac{\partial f}{\partial x^\alpha}$$

оказывается обусловленным допустимыми преобразованиями пятой координаты:

$$x'^5 = x^5 + f(x^0, x^1, x^2, x^3). \quad (10.2.5)$$

Таким образом, история преподнесла физикам любопытный урок. Большинство предшествующих мыслителей полагали, что сначала удастся обнаружить проявление дополнительной размерности непосредственно через координату x^5 . Э. Мах и другие размышляли о ее возможном физическом смысле. Но оказалось, что пятое измерение проявилось не через координату, а через дополнительные компоненты 5-мерного метрического тензора $G_{5\mu} \rightarrow A_\mu$. Потом был осознан физический смысл пятой компоненты $p_5 \rightarrow q$ импульса, и только затем стали делать выводы о природе пятой координаты.

Оказалось, что в дополнение к условию цилиндричности метрики по x^5 следует постулировать замкнутость мира по пятой размерности с очень малым периодом

$$T = 2\pi\alpha^{-1} = 4\pi \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} \sqrt{\frac{\hbar c}{e^2}} \approx 10^{-31} \text{ см.} \quad (10.2.6)$$

лишь на порядок (на множитель — корень из постоянной тонкой структуры), отличающийся от планковской длины $l_{pl} = \sqrt{\hbar G/c^3}$. Говорят, что мир компактифицирован по пятой координате. Это проявляется в том, что все физические поля Ψ , описывающие заряженные частицы, следует

полагать циклически зависящими от x^5 , т. е. в виде

$$\Psi \sim \exp(i\alpha\epsilon_5 x^5) = \exp\left(\frac{i}{\hbar} \frac{ec}{2\sqrt{G}} \epsilon_5 x^5\right), \quad (10.2.7)$$

где e — электрический заряд электрона, ϵ_5 — целочисленная гармоника, определяющая заряд частицы q в единицах e : $q = \epsilon_5 e$. По этой причине во всех известных уравнениях не проявляется зависимость от пятой координаты, — по ней происходит усреднение.

10.3. Необычность дополнительных координат, или почему классическое пространство-время четырехмерно?

Следует более подробно остановиться на принципе выделенности (необычности) 5-й координаты x^5 (или вообще всех дополнительных координат). Для этого обратим внимание на известный факт: все классические физические поля — ньютоновское гравитационное, кулоновское электрическое, магнитное, производимое магнитным зарядом, взаимодействия проводников с током в законе Био-Савара—Лапласа — обязательно убывают обратно пропорционально квадрату расстояния. Спрашивается, почему такие разные силы ведут себя одинаково? На это обратил внимание еще И. Кант, который правильно связал это обстоятельство с 3-мерностью классического пространства. Он же отметил, если бы наше пространство было n -мерным, то силы и их потенциалы убывали бы по законам:

$$F \sim \frac{1}{r^{n-1}}; \quad \varphi \sim \frac{1}{r^{n-2}}. \quad (10.3.1)$$

В связи с этим сразу же возникает вопрос о согласовании идеи о многомерности пространства с данным утверждением И. Канта. Нет ли здесь противоречия? Противоречие несомненно было бы, если бы в 5-мерной теории Кaluцы или в теориях большей размерности дополнительные координаты были бы совершенно равноправными с четырьмя классическими, что исключается а priori. В теории Кaluцы это соответствует условию цилиндричности компонент метрического тензора по пятой координате (независимости от x^5). При данном условии компоненты метрического тензора, в некотором смысле являющиеся потенциалами физических полей, убывают обратно пропорционально первой степени от расстояния, что и наблюдается в нашем мире.

Но тогда возникает другой естественный (вполне законный) вопрос: *почему* классических координат только четыре или *почему* классическое пространство 3-мерно, а время одномерно? Заметим, что многие считают, что физика не призвана давать ответы на подобные вопросы и вправе отвечать лишь на вопросы типа: как происходят явления? Вопросы же — почему мир устроен так, а не иначе? — было принято относить к сфере религии или метафизики. Напомним, что в современной

физической картине мира факт 4-мерности наблюдаемого классического пространства-времени обычно постулируется. Однако теперь, поскольку фундаментальная теоретическая физика вплотную приблизилась к метафизике, на подобные вопросы призвана отвечать именно физика.

Над вопросом — почему пространство трехмерно, а время одномерно? — в XVIII в. размышляли И. Кант и Ж. Л. Лагранж, в XIX в. его обсуждали Б. Риман, Э. Мах, Г. Грассман. Уже в XX столетии было затрачено много усилий на его решение А. Эйнштейном, П. Эренфестом, А. Эддингтоном и многими другими. Аксиома 4-мерности геометрии нашего мира представлялась одним из наиболее удивительных и загадочных свойств мироздания, и ее пытались объяснить физическими факторами.

Фактически такие исследования свелись к изучению особенностей 4-мерной физической теории по сравнению с мыслимыми теориями в классических многообразиях иной размерности. Задача ставилась следующим образом: выбирался тот или иной фактор (или закон), который, по мнению авторов, мог в какой-то степени претендовать на фундаментальность, и исследовалось, зависит ли он от размерности многообразия. При этом выделялись те факторы, которые имеют место лишь в пространстве-времени четырех измерений или, по крайней мере, для которых размерность «4» — граничная, начиная или кончая которой эти факторы (или законы) справедливы. В итоге подобных исследований выявила чрезвычайно любопытная картина уникальности нашего (классического) 4-мерного мира.

1. Как в плоских, так и в искривленных мирах *круговые орбиты тел в центральном гравитационном поле* (*например, орбиты планет в солнечной системе*) *неустойчивы в многообразиях с* $n \geq 5$ *и устойчивы при* $n \leq 4$, где n — размерность пространства-времени. Это означает, что при $n > 4$ невозможны долго живущие планетарные системы: небольшие возмущения в них приведут к падению планет на центральное тело (в частности, на Солнце) или к уходу с орбит в бесконечность.

2. *Только в пространстве-времени четырех измерений (и меньше) устойчивы атомы.* В многообразиях большего числа измерений либо вовсе может не оказаться уровней энергии (нет связанных состояний), либо отрицательные уровни простираются до значения, равного минус бесконечности. Последнее означает, что для любого уровня есть еще более низкий. Электроны в таких атомах, излучая, будут бесконечно перескакивать вниз, т. е. не будет стабильных состояний вещества. В таких мирах не могли бы существовать ни планеты, ни тела, ни люди.

3. *Принцип Гюйгенса справедлив лишь в пространствах нечетной размерности* (т. е. четной размерности пространства-времени). Этот принцип, первоначально сформулированный для построения фронта световой волны, в настоящее время имеет несколько формулировок. В математическом плане он означает, что решение задачи Коши для

волнового уравнения зависит только от начальных значений функции и ее производных на границе основания $r = x^0$ характеристического конуса, а не от начальных значений внутри этого основания. Именно выполнимость принципа Гюйгенса позволяет принимать четкие световые и радиосигналы.

Отметим, что имеются особенности, выделяющие 3-мерное пространство из всех других мыслимых пространств с нечетной размерностью.

4. *Размерность 4 – наименьшая, начиная с которой общая теория относительности Эйнштейна в вакууме содержительна.* Это означает, что в многообразиях трех или двух измерений уравнения Эйнштейна типа $R_{\mu\nu} = 0$ (в вакууме) уже диктуют плоский характер многообразия.

5. *Размерность четыре является единственной, при которой уравнения Максвелла в вакууме являются конформно инвариантными, т. е. не зависящими от масштаба длин.*

6. *Квантовая электродинамика перенормируется только в пространстве-времени с размерностями $n \leq 4$.* Напомним, что в неперенормируемых теориях возникает бесконечно большое число бесконечных выражений в отличие от перенормируемых теорий, где бесконечных выражений несколько и их можно скомпенсировать, переопределив соответствующие константы.

Этот список особенностей 4-мерия можно существенно продолжить. Более подробно можно ознакомиться с состоянием этого направления исследований в специальных обзорах и книгах (см. [29, 30, 46, 112]).

Перечисленные особенности позволяют почувствовать удивительную уникальность нашего (классического) мира. Однако цель данных исследований состояла не столько в удовлетворении любопытства, сколько в попытке найти физические факторы, которые могли бы заменить простую геометрическую аксиому $n = 4$. Следует признать, что ни требование устойчивости планетных орбит, ни устойчивость атомов, ни справедливость принципа Гюйгенса не могут претендовать на роль более фундаментальной аксиомы (метафизического характера). В рамках теоретико-полевого и геометрического видений мира пока не видно ответа на этот вопрос, но есть возможность на него ответить в бинарной геометрофизике, где учтены достижения реляционного видения мира (см. гл. 16).

10.4. Обобщенная «система отсчета» (метод 1+4-расщепления)

Чтобы достаточно полно и строго разобраться в физическом содержании теории Калуцы, необходимо использовать математический аппарат проецирования понятий 5-мерной геометрии на уже ставшее привычным 4-мерное пространство-время. Последнее осуществляется

с помощью того же монадного метода, что и в общей теории относительности, только теперь это метод $1 + 4$ -расщепления. Поскольку в предыдущей главе он применялся для описания систем отсчета, то в данном случае можно говорить о задании этим методом обобщенной «системы отсчета», соответствующей определению «физической ситуации».

В работе Калуцы еще не было такого метода, поэтому его теория выглядит недостаточно строго. Разработка монадного метода была начата в работах А. Эйнштейна и П. Бергмана 30-х гг. [204] именно с целью усовершенствования 5-мерной теории. Затем этот метод был фактически переложен на 4-мерие (или был «переоткрыт» в рамках 4-мерия как метод $1 + 3$ -расщепления) для описания систем отсчета в общей теории относительности. Здесь же он был усовершенствован и только потом уже был снова применен для описания многомерных теорий.

В метафизическом плане монадный метод опять выполняет роль обратного перехода от одной обобщенной категории (в данном случае искривленного 5-мерного пространства-времени), объединяющей пространство-время и поля переносчиков взаимодействий, к прежним двум категориям: 4-мерного (искривленного) пространства-времени и вложенного в него электромагнитного поля.

Как и в 4-мерии, монадный метод можно представить в виде четырех составных частей: 1) алгебры, 2) определения монадных физико-геометрических величин (тензоров), 3) задания монадных операторов дифференцирования и 4) записи всех уравнений в монадном виде. Рассмотрим эти части в отдельности.

1. Алгебра. Исходным положением теории является представление компонент 5-мерного метрического тензора в виде

$$G_{AB} = g_{AB} - \lambda_A \lambda_B, \quad (10.4.1)$$

где g_{AB} — метрический тензор 4-мерного пространства-времени (общей теории относительности), а λ_A — 5-мерный вектор — монада в 5-мерном пространстве-времени. В данной теории предлагается использовать лишь величины, спроектированные либо на направление монады λ_A , либо на 4-мерное пространственно-временное сечение, ортогональное направлению монады (пятыму направлению). Опуская некоторые математические детали, отметим, что в такой теории 4-мерный метрический тензор и электромагнитный векторный потенциал представляются в более совершенном виде, нежели в (10.2.2) и (10.2.3):

$$g_{\mu\nu} = G_{\mu\nu} + \frac{G_{\mu 5} G_{\nu 5}}{G_{55}}; \quad A_\mu = -\frac{c^2}{2\sqrt{G}} \lambda_\mu = -\frac{c^2}{2\sqrt{G}} \frac{G_{\mu 5}}{G_{55}}, \quad (10.4.2)$$

где греческие индексы, как и ранее в ОТО, пробегают 4 значения: 0, 1, 2, 3.

Заметим, что в теории Калуцы обычно полагают $G_{55} = -1$, тогда формулы для векторных потенциалов в (10.2.2) и (10.4.2) совпадают.

2. Монадные физико-геометрические величины (тензоры), как и в общей теории относительности, строятся из первых производных от составляющих метрического тензора в (10.4.1), при этом можно построить три и только три такие тензорные величины, которые соответствуют ускорению обобщенной «системы отсчета», ее «угловой скорости вращения» и «деформации». Оказывается, при условиях, наложенных на характер дополнительной размерности (условие цилиндричности и $G_{55} = -1$), обобщенные «ускорение» и «деформация» обращаются в нуль и остается лишь один физико-геометрический тензор, соответствующий обобщенной «угловой скорости вращения» 5-мерной «системы отсчета»:

$$\tilde{\Omega}_{\mu\nu} = \frac{\sqrt{G}}{c^2} F_{\mu\nu} = \frac{\sqrt{G}}{c^2} \left(\frac{\partial A_\nu}{\partial x^\mu} - \frac{\partial A_\mu}{\partial x^\nu} \right), \quad (10.4.3)$$

который с точностью до размерного коэффициента имеет физический смысл тензора напряженности электромагнитного поля.

3. Операторы монадного дифференцирования вводятся как такие комбинации из частных производных и составляющих метрического тензора, которые остаются инвариантными (неизменными) при произвольных преобразованиях пятой координаты и изменяются по обычному тензорному закону при 4-мерных преобразованиях общей теории относительности. 4-Мерным операторам частного дифференцирования соответствуют монадные операторы вида

$$\frac{\partial}{\partial x^\mu} \rightarrow \partial_\mu^\dagger = \frac{\partial}{\partial x^\mu} - \frac{G_{5\mu}}{G_{55}} \frac{\partial}{\partial x^5} = \frac{\partial}{\partial x^\mu} + \frac{2\sqrt{G}}{c^2} A_\mu \frac{\partial}{\partial x^5}. \quad (10.4.4)$$

Как уже отмечалось, в 5-мерной теории волновые функции электрически заряженных полей зависят от пятой координаты, причем циклическим образом, согласно (10.2.7). Подставляя (10.2.7) в (10.4.4), автоматически приходим к удлиненным производным (6.2.1) калибровочной теории электродинамики в теоретико-полевом видении мира. При этом гармоника ϵ_5 в экспоненциальной зависимости волновых функций от x^5 имеет смысл электрического заряда поля Q в единицах элементарного заряда электрона e :

$$\epsilon_5 = Q \rightarrow \epsilon_5 e = Qe \equiv q. \quad (10.4.5)$$

Таким образом, в геометрическом миропонимании электромагнитное поле вводится из принципиально иных соображений, нежели при калибровочном подходе теоретико-полевого миропонимания, однако итоговые выражения совпадают друг с другом.

4. Запись соотношений 5-мерной теории в монадном виде. Именно в такой форме пятнадцать 5-мерных уравнений Эйнштейна

разбиваются на десять 4-мерных тензорных уравнений Эйнштейна, четыре векторных 4-мерных уравнения Максвелла и еще одно скалярное уравнение типа Клейна–Фока, о чём говорилось в первом из «чудес» Калуцы.

Следует подчеркнуть, что в рамках теории Калуцы имеет место принцип общей ковариантности относительно преобразований четырех классических координат, о котором говорил Эйнштейн при обсуждении оснований своей теории. Вся же теория оказывается инвариантной относительно преобразований пятой координаты. Семейство оставшихся преобразований четырех классических координат с участием пятой означают переход к иной обобщенной «системе отсчета», т. е. изменяют характер физической ситуации.

Поясним это на примере. В теории Калуцы найдено сферически-симметричное решение 5-мерных уравнений Эйнштейна, похожее на обсужденное ранее решение Шварцшильда (9.4.1). В нем нет электромагнитного поля, а центральный источник не имеет электрического заряда. Стоит только произвести названное преобразование классических координат с участием 5-й координаты, как названное решение изменяется: центральный источник в нем приобретает электрический заряд и вокруг него возникает радиальное кулоновское электромагнитное поле. Такой переход к иной физической ситуации можно уподобить в 4-мерной общей теории относительности переходу во вращающуюся систему отсчета.

Заметим, что аналогичная, чрезвычайно важная роль обобщенной «системы отсчета» (или метода 4+1+...-расщепления) проявляется и в многомерных теориях больших размерностей.

10.5. Развитие 5-мерной теории

Рассмотрим, как развивалась идея о 5-мерии мира после работы Калуцы.

В середине 20-х гг. к идеям, близким теории Калуцы, независимо пришел российский физик-теоретик из Петрограда Г. А. Мандель. В отличие от Калуцы, он считал, что мир представляет собой плоское 5-мерное многообразие, в которое вложен наблюдаемый мир в виде искривленной (римановой) 4-мерной гиперповерхности. Им были записаны уравнения движения заряженных частиц в виде 4-мерной части 5-мерных уравнений геодезической линии и указано, что пятая компонента 5-мерной скорости имеет физический смысл отношения электрического заряда частицы к ее массе. В его трудах можно усмотреть ряд элементов монадного метода 1+4-расщепления.

Заметим, что идею о 5-мерии физического мира российские физики-теоретики, в том числе и В. А. Фок, восприняли от Манделя и сразу же приступили к ее развитию. Так, с весны 1926 до весны 1927 г. появилось

сразу несколько работ по возможной связи пятимерия с квантовой механикой, написанных Г. А. Манделем, В. А. Фоком, Г. А. Гамовым совместно с Д. Д. Иваненко, В. К. Фредериксом.

В 20-х гг. 5-мерную единую теорию гравитации и электромагнетизма развивали вслед за Калуцей Л. де Бройль, А. Эйнштейн и ряд других исследователей. Так, в статье Л. де Бройля обсуждался вопрос об отождествлении компоненты метрики $G_{5\mu}$ с электромагнитным векторным потенциалом при отличной от минус единицы 15-й компоненты метрики G_{55} . Работы А. Эйнштейна этого периода отражают его мучительные колебания в выборе пути геометризации электромагнетизма либо вслед за Г. Вейлем в рамках обобщенной (неримановой) 4-мерной геометрии, либо вслед за Калуцей на основе 5-мерной римановой геометрии.

Особо следует остановиться на работах 1926 г., выполненных Оскаром Клейном [82] и В. А. Фоком [173]. В них идеи 5-мерия были применены для описания другого физического аспекта. Они обобщили релятивистское волновое уравнение для массивной частицы на случай 5-мерной теории, предложив вводить массу покоя частиц посредством дифференцирования ее волновой функции по 5-й координате. Так было впервые получено волновое уравнение для скалярных частиц, обычно именуемое как уравнение Клейна—Гордона. Как уже отмечалось, правильнее его называть уравнением Клейна—Фока или Клейна—Фока—Гордона.

Названными авторами было предложено понимать уравнение для (скалярной) волновой функции $\Phi(x^A)$ частиц как уравнение 5-мерной оптики

$$G^{AB} \frac{\partial \Phi}{\partial x^A} \frac{\partial \Phi}{\partial x^B} = 0, \quad (A, B = 0, 1, 2, 3, 4) \quad (10.5.1)$$

где постулировалась следующая зависимость 5-мерной волновой функции от дополнительной координаты x^4 :

$$\Phi(x^0, x^1, x^2, x^3, x^4) = \varphi(x^0, x^1, x^2, x^3) \exp\left(\frac{imcx^4}{\hbar}\right) \equiv \varphi(x^\mu) \exp(i\beta x^4). \quad (10.5.2)$$

Здесь $\varphi(x^\mu)$ — стандартная 4-мерная волновая функция частиц. В уравнении (10.5.1) метрика G^{AB} может быть как искривленной, так и плоской. В последнем случае это уравнение превращается в общеизвестное релятивистское уравнение Клейна—Фока (5.2.1):

$$\left[\square + \left(\frac{mc}{\hbar} \right)^2 \right] \varphi(x^\mu) = 0. \quad (10.5.3)$$

В (10.5.2) опять введена циклическая зависимость от дополнительной координаты, однако она отличается от зависимости (10.2.7) в 5-мерной теории Калуцы. По этой причине дополнительная координата теперь называется x^4 . Таким образом, можно утверждать, что серия работ О. Клейна, В. А. Фока и ряда других авторов представляет собой *иную*

етвь многомерных исследований, нацеленных не на объединение физических взаимодействий, а, главным образом, на описание масс покоя частиц. Данный факт нужно иметь в виду, поскольку сейчас в литературе многомерные геометрические модели физических взаимодействий именуются теориями Калуцы–Клейна.

В начале 30-х гг. одной из важнейших проблем теоретической физики считался поиск единой теории гравитации и электромагнетизма. Наряду с геометрическими вариантами в рамках 4-мерия (теории Г. Вейля, А. Эддингтона и др.) подробно анализировалась 5-мерная теория. Предпринимались настойчивые попытки преодолеть недостатки ее первых вариантов, в частности, старались выяснить физический смысл 5-й координаты или обосновать причины ее отсутствия в используемых уравнениях.

Среди наиболее интересных результатов следует выделить два. Первый был получен в работах А. Эйнштейна и П. Бергмана [204] и А. Эйнштейна, В. Баргмана и П. Бергмана. Он состоит в ослаблении условия цилиндричности (независимости) метрики по пятой координате. Вместо него было предложено уже упомянутое выше условие периодичности (цикличности) по x^5 . Именно от этих работ возникли представления о замкнутости (компактифицированности) мира по 5-й координате с очень малым периодом по сравнению с макроскопическими масштабами.

Второй результат также связан с поиском обоснования ненаблюдаемости 5-й координаты. Он состоит в построении проективного варианта 5-мерия и начал развиваться с работ О. Веблена и Б. Гофмана. Было предложено описывать 4-мериос многообразие посредством пяти однородных координат. На основе понятия проектора Д. ван Данцигом была создана проективная дифференциальная геометрия. Затем И. Схутен и ван Данциг применили этот математический аппарат для построения *проективной теории гравитации и электромагнетизма*. Некоторым промежуточным итогом явились работы по проективному формализму В. Паули, в которых введен ряд упрощений и сделана попытка учета спинорных полей.

После этих работ сложились *три ветви развития 5-мерных теорий*: первая вслед за Калуцей — была нацелена на объединение гравитации и электромагнетизма (с условием цилиндричности или цикличности по 5-й координате), вторая продолжала работы Ф. Клейна, О. Клейна и В. А. Фока по геометризации массы, но затронула и проблему объединения двух названных взаимодействий и третья — проективный вариант 5-мерия. В дальнейшем В. Паули показал, что между первой (с условием цилиндричности по x^5) и третьей ветвями 5-мерия можно установить взаимно однозначное соответствие. Позже выяснилось, что

первая ветвь предоставляет больше возможностей для последующих обобщений теории.

В 20-х – 30-х гг. возлагались слишком большие надежды на исследования в рамках геометрического миропонимания. Ожидалось, что вот-вот будет построена единая геометрическая теория гравитации и электромагнетизма, которая радикально изменит представления об окружающем мире. Однако время шло, а ожидаемых результатов не было, причем это происходило на фоне бурно развивающейся квантовой теории и физики микромира. Во второй половине 30-х гг. эйфория геометризации сменилась резким отторжением всего этого направления исследований.

Известный японский физик-теоретик Р. Утияма так описал атмосферу, сложившуюся вокруг исследований геометрических единых теорий поля: «Все физики мира, особенно юные гении и талантливая молодежь, ставившие своей целью создание и развитие новой науки, сосредоточили внимание на проблемах квантовой физики. Число интересующихся едиными теориями поля все надало, а в конце концов остались всего две-три научные школы, занимавшиеся проблемами общей теории относительности и единой теорией поля. Ею занимались перевалившие на вторую половину жизни старики, а интересующихся этой темой молодых людей «физическое» общественное мнение третировало как оригинал со странностями, людей не от мира сего... Что бы ни говорили вокруг, а в глубине души я считал себя талантливым, поэтому, разумеется, тоже специализировался на квантовой физике. Но (какое несчастье!) я имел еще интерес к теории относительности и единой теории поля, настолько сильный, что не мог бросить эти занятия. Конечно, заниматься этими вещами открыто, официально означало самому себе наклеить ярлык человека «с приветом», странного оригинала. В то время я был холост, и подобная репутация очень затруднила бы мне вступление в брак. В таких обстоятельствах невозможно было не хранить в глубокой тайне свое увлечение единой теорией поля» [166, с. 110].

Следующий подъем интереса к 5-мерию наблюдался в конце 40-х – первой половине 50-х гг. и был связан с иными обстоятельствами. На этот период приходятся работы П. Йордана, который предложил отказаться от условия в 5-мерии $G_{55} = -1$. В итоге получилась теория с дополнительным скалярным полем, которое изучалось в работах И. Тири, К. Юста, Г. Людвига и других авторов, причем исследования велись в двух ветвях 5-мерия: в первой и третьей. Было рассмотрено взаимодействие скалярного поля с обычными видами материи и были найдены первые сферически-симметричные и космологические решения скалярно-тензорной теории гравитации. Тогда же предпринималась попытка обосновать посредством скалярного поля гипотезу П. Дирака о возможности изменения гравитационной постоянной.

Как уже отмечалось, несколько позже К. Бранс и Р. Дикке, оттолкнувшись от 5-мерия, стали развивать 4-мерную теорию со скалярным полем, известную в литературе под названием скалярно-тензорная теория гравитации Йордана—Бранса—Дикке.

Для развития идей многомерия в России большое значение имел цикл работ 50-х гг. Ю. Б. Румера, оформленный затем в виде монографии «Исследования по 5-оптике» [146], в которой разрабатывался вариант 5-мерия, соответствующий идеи Ф. Клейна конца XIX в., и, в частности, — вторая ветвь 5-мерия, начатая в работах О. Клейна и В. А. Фока. Согласно этой теории, массивные частицы в 4-мерном мире рассматриваются как безмассовые в 5-мерии, т. е. движущиеся по 5-мерным изотропным мировым линиям. Характерной чертой работ Румера является также попытка связать идею Эйнштейна—Бергмана о замкнутости мира по 5-й координате с закономерностями квантовой механики. Известно, что Эйнштейн и Бергман сами не связали замкнутость мира по x^5 с какими-либо определенными физическими обстоятельствами. Румер предложил интерпретировать 5-ю координату как классическое действие, тогда волновые свойства материи (и всю квантовую механику), согласно Румеру, следует понимать как проявление компактифицированного пятого измерения.

После ряда интригующих воображение результатов это направление исследований встретилось с рядом проблем, которые автору преодолеть не удалось.

В конце 50-х и в 60-х гг. исследования многомерных теорий опять оказались на заднем плане, хотя окончательно и не прекращались. Заметное внимание этой проблеме уделялось во Франции в группах А. Лихнеровича, М. Тоннеля и других. Особо следует выделить работу И. Сурьо, где рассматривалась зависимость от x^5 всех компонент метрики и волновых функций частиц. Ряд исследований был выполнен в Германии (в ГДР) Э. Шмутцером (в проективном варианте). Интересно отметить, что некоторые авторы (И. Подоланский, Н. Калицин) уже изучали возможности физических приложений многомерных теорий шести и большего числа измерений.

В России (в СССР) серии работ по 5-мерию были выполнены Ю. П. Пытьевым [136] в МГУ и В. И. Родичевым, который предложил описывать электромагнетизм 5-мерным тензором кручения. В исследованиях В. Г. Кадышевского [75] изучались 5-мерные импульсные пространства с целью устранения расходимостей в квантовой теории поля.

Следует отметить еще одно направление, близкое к классической линии Калуцы, но в пространствах 6 измерений. Здесь имеются в виду работы М. Павлича [123] и Р. Л. Ингрэхема второй половины 70-х гг., основанные на обобщении группы конформных преобразований. Уже давно обращалось внимание на то, что уравнения для безмассовых полей

в 4-мерном плоском пространстве-времени инвариантны относительно более широкой группы преобразований, нежели 10-параметрическая группа Пуанкаре. Это 15-параметрическая группа конформных преобразований, изоморфная, т. е. эквивалентная, группе вращений 6-мерного многообразия с двумя времени-подобными координатами и четырьмя пространственно-подобными (с сигнатурой $(+ - - - +)$). Переход к 6-мерию и его обобщение, аналогичное переходу от группы Лоренца в специальной теории относительности к группе допустимых координатных преобразований в общей теории относительности, лежат в основе упомянутых выше работ.

В работах А. П. Ефремова [62] исследовался иной вариант 6-мерных теорий с сигнатурой $(+++---)$, основанный на идее симметрии времени- и пространственно-подобных измерений.

10.6. Анализ критических замечаний по теории Калуцы

Как уже отмечалось, несмотря на свои достоинства и указанные выше «чудеса» Калуцы, 5-мерная теория долгое время не имела всеобщего признания и не была рабочим инструментом физиков. До сих пор сведения о 5-мерной теории не включаются в учебники, как правило, о ней не говорят не только школьникам, но и студентам вузов. Анализ вопроса показывает, что для этого был ряд оснований, главным образом, психологического характера. Перечислим главные претензии к 5-мерной теории, выдвигавшиеся А. Эйнштейном и другими ведущими теоретиками, а также ответы на них с позиций физики начала XXI в.

1. *Не был ясен физический смысл 5-й координаты.* Многие теоретики, начиная с Э. Маха [105], понимали дополнительную размерность как обладающую теми же свойствами, что и четыре классические, и пытались подобрать физическую интерпретацию именно под такие представления.

— Научное общественное мнение остановилось на точке зрения, согласно которой дополнительная размерность компактифицирована, т. е. замкнута с очень малым периодом. Именно поэтому 5-я координата (и другие) не наблюдается.

Отметим, что в последнее время возобновился анализ возможностей многомерных теорий с некомпактифицированными дополнительными размерностями. В них предлагается описывать мир в виде некоторого слоя точек вокруг 4-мерной гиперповерхности, вложенной в 5-мерное пространственно-временное многообразие [86]. Выдвигаются гипотезы, призванные объяснить отклонения от 4-мерной гиперповерхности или, наоборот, стремление мира сосредоточиться на 4-мерной гиперповерхности. Однако подобные исследования имеют поисковый характер.

2. Сомнения вызывало условие цилиндричности компонент 5-мерной метрики по 5-й координате. Эйнштейн писал: «Условие цилиндричности не является естественным даже формально» [203, с. 367].

— Оказалось, зависимость полей от 5-й координаты означает наличие у них электрического заряда. Условие же цилиндричности компонент 5-мерной метрики G_{AB} по 5-й координате соответствует отсутствию электрического заряда у получаемых из нее полей. Очевидно, что как гравитационное поле (метрика $g_{\mu\nu}$), так и электромагнитное поле (смешанные компоненты 5-мерной метрики) являются электрически нейтральными.

3. Как писал Эйнштейн, «не удается физически истолковать компоненту G_{55} » [203, с. 367].

— Действительно, в 5-мерной теории Калуцы физическое истолкование компоненты метрики G_{55} представляет серьезную проблему. Предлагались следующие пути ее решения:

- 1) в ряде работ постулировалось, что $G_{55} = -1$, и далее развивалась теория с помощью вариационного принципа;
- 2) многие авторы предлагали считать компоненту G_{55} зависящей от четырех классических координат и интерпретировать ее как пока не обнаруженное дополнительное (безмассовое) скалярное поле геометрического происхождения;
- 3) предпринимались попытки с помощью компоненты G_{55} геометризовать электрически заряженную материю, которую в стандартной теории принято вносить волевым образом в правую часть уравнений Эйнштейна;
- 4) при применении многомерной теории к описанию электрослабых взаимодействий предлагалось описывать через компоненту G_{55} хиггсовское скалярное поле, ответственное в модели Вайнберга–Салама–Глэшоу за возникновение масс элементарных частиц.

4. пятнадцатое уравнение Эйнштейна налагало жесткое условие связи между 4-мерной скалярной кривизной R и инвариантом электромагнитного поля $F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}$.

— Решение проблемы 15-го уравнения Эйнштейна зависит от выбора одного из перчисленных в предыдущем пункте вариантов интерпретации G_{55} , а именно:

- 1) при первой интерпретации 15-е уравнение Эйнштейна отсутствует, так как вариационный принцип применяется к лагранжиану, содержащему лишь 14 независимых величин;
- 2) при второй интерпретации 15-е уравнение Эйнштейна является уравнением для геометрического безмассового скалярного поля. В этом случае отсутствует жесткая связь между скалярной кривизной и инвариантом электромагнитного поля.

в вариантах 3) и 4) компонента G_{55} определяет конформный фактор. Вместо 15-го уравнения Эйнштейна вариационным принципом выводится уравнение для соответствующего массивного скалярного поля.

5. В 20-х гг. Эйнштейн считал существенным недостатком теории Калуцы необходимость волевым образом вводить в правую часть электромагнитных уравнений плотности электрического тока внешней материи.

— Протензии к наличию правой части у 5-мерных уравнений в равной степени относятся и к 4-мерным уравнениям Эйнштейна. Это общее свойство теорий, принадлежащих дуалистической парадигме геометрического видения мира. Впрочем, Эйнштейна не удовлетворял этот факт и в 4-мерной теории.

6. Констатировалось, что в теории получено лишь формальное единство общей теории относительности и электромагнетизма Максвелла. Эйнштейн писал: «Цель Калуцы, несомненно, заключалась в том, чтобы прийти к новому физическому взгляду на гравитацию и электричество путем введения единой структуры пространства. Однако эта цель не была достигнута» [204, с. 497]. В частности, неоднократно отмечалось, что 5-мерная теория не дала каких-либо новых экспериментальных предсказаний. Получалось только то, что было известно и без 5-мерной теории.

— Вопрос о предсказании новых эффектов в рамках 5-мерной теории опять тесно связан с пониманием скалярного поля. В первом из приведенных выше подходов к компоненте G_{55} высказанное замечание остается в силе. В рамках же второго подхода может быть предсказан ряд возможных эффектов, например, сезонные вариации значений физических констант на Земле [29, с. 80]. В третьем варианте во главу угла ставится принципиальный вопрос о геометризации всей материи, т. е. речь идет о переходе к экстремальной клиффордовской геометрической парадигме (к монистической метафизической парадигме со стороны геометрического видения мира). Четвертый вариант оказывается тесно связанным с дальнейшим увеличением размерности и с геометризацией модели Вайнберга—Салама—Глэнпу.

7. Одновременно с работами 20-х – 30-х гг. по поиску геометрических единых теорий поля интенсивно развивалась квантовая теория. Ощущалась естественная потребность перебросить мостик между этими двумя направлениями исследований. Однако глубокой связи между геометризацией полей и квантовой теорией в то время не было установлено.

— Следует заметить, что работы по 5-мерию В. А. Фока и О. Клейна были связаны с написанием волнового (первично квантованного) уравнения Клейна—Фока, т. е. какая-то связь с квантовой механикой была, однако ожидалось значительно большее.

8. Имелись альтернативные варианты единой теории поля, опирающиеся на обобщения римановой геометрии в рамках 4-мерного пространства-времени. Среди них наиболее видное место занимала теория Вейля. Эйнштейн писал: «До сих пор были сделаны две наиболее простые и естественные попытки связать гравитацию и электромагнетизм с помощью единой теории поля: одна — Вейлем, другая Калуцей» [204, с. 492]. Не было ясно, какой из этих путей следует предпочесть.

— Проблема выбора между 4-мерной теорией Вейля и теорией Калуцы со временем была решена в пользу теории Калуцы. В теории Вейля встретился ряд трудностей, которые пришлось устранять искусственными методами.

9. В последующие годы были развиты теории слабых и сильных взаимодействий. Стали говорить о четырех видах физических взаимодействий. 5-Мерная теория претендовала на геометризацию лишь гравитации и электромагнетизма и не затрагивала слабые и сильные взаимодействия. Это рассматривалось как существенный недостаток 5-мерной теории. Не видя путей преодоления этой трудности, в середине 70-х гг. стал терять веру в многомерие даже такой его стойкий приверженец, как Ю. Б. Румер. Буквально за несколько лет до возрождения идей многомерия он написал: «Однако такого рода попытки (построения 5-мерной теории. — Ю. В.) не дали никаких существенно новых результатов. Этот путь объединения имел бы некоторый смысл в тот давно уже прошедший период физики, когда из семейства зарядов был известен лишь электрический заряд. Но в связи с открытием в последние годы новых зарядовых величин и соответствующих этим величинам законов сохранения надежда на развитие 5-мерных теорий должна быть оставлена. На этом пути в лучшем случае можно прийти к чисто внешнему, механическому объединению электромагнетизма и тяготения, но нет надежды получить органическое объединение, дающее возможность предсказывать какие-либо новые наблюдаемые электрографитационные эффекты» [147, с. 118].

— В 80-х гг. было осознано, что многомерные модели типа теории Калуцы пригодны для описания не только электромагнитного, но и других взаимодействий, например, электрослабого. Для этого необходимо увеличить размерность пространства-времени, как минимум, до шести. Это стало ясно, после того как в рамках калибровочного подхода (теоретико-полевого видения мира) было показано, что другие физические взаимодействия переносятся промежуточными векторными бозонами.

10. В более поздних вариантах 5-мерной теории Калуцы была введена циклическая зависимость заряженных полей от 5-й координаты. При этом использовались лишь низшие гармоники такой зависимости. Возникали вопросы, во-первых, обоснования циклической зависимости и, во-вторых, интерпретации частиц с более высокими гармониками.

— Это замечание о циклическом характере зависимости заряженных полей от дополнительных координат в многомерных теориях Калузы и Клейна обычно связывается с топологией компактифицированных размерностей.

11. В теории Калузы естественным образом появляются значения масс, порядка планковской массы. При желании описывать реальные элементарные частицы *встает проблема перенормировки планковских масс до экспериментально известных значений.*

— Этот вопрос имеет геометрическое решение в рамках геометрического подхода, например, при использовании специальных видов многомерной геометрии с кручением.

Можно назвать и некоторые другие вопросы к 5-мерной теории и привести соответствующие разъяснения.

Таким образом, *практически все перечисленные выше претензии к 5-мерной теории Калузы (в первой ветви развития многомерия) носили либо психологический характер, связанный с трудностями признания новых размерностей и следствий из них, либо были обращены именно к теориям пяти измерений, а нужно было дальше шагнуть по ступеням размерности.* При еще большем увеличении размерности некоторые из названных претензий автоматически снимались или без труда преодолевались.

Но все это стало понятным значительно позже, а в условиях 30-х — 60-х гг., в отсутствие предсказаний новых эффектов, когда параллельно развивались квантовая теория, ядерная физика, трудно было защищать теорию 5-мерия. Ее немногочисленные сторонники выглядели порой воистину как мученики веры. Так было на Западе, но особенно трудно им было в нашей стране. «Пятой ногой» обзывали одного из первых отечественных энтузиастов 5-мерия Г. Манделя. Много насмешек перенес самый стойкий в нашей стране сторонник 5-мерия Ю. Б. Румер. По свидетельству его коллег, вера в 5-мерие помогла ему пройти через сталинские лагеря и шараги. Другой отечественный физик-теоретик В. И. Родичев благодаря вере в идеи многомерия пережил фашистские концлагеря. Многим известно, как трудно было публиковать работы по 5-мерию в 60-х — 70-х гг. Даже в конце 70-х гг., когда готовилось издание юбилейного сборника, посвященного 100-летию со дня рождения А. Эйнштейна, некоторые авторитетные отечественные физики-теоретики возражали против включения в него перевода статьи Т. Калузы по 5-мерию¹⁾.

¹⁾ Автор этой книги был редактором-составителем юбилейного сборника «Альберт Эйнштейн и теория гравитации» (М.: Мир, 1979 г.). Несмотря на возражения, статья Калузы была включена в сборник. А в самом начале 80-х гг. до нашей страны

10.7. Многомерные модели с размерностью, большей пяти

Возрождение интереса к многомерным геометрическим моделям было связано с исследованиями способов описания слабых (электрослабых) и сильных взаимодействий, что оказалось возможным в рамках многомерных геометрических моделей с размерностью, большей пяти.

10.7.1. Возрождение концепции многомерия

История исследований в области многомерия стала поучительным свидетельством того, как разработка принципиально важного направления (в данном случае в рамках метафизической парадигмы геометрического миропонимания) на долгое время была практически приостановлена. Ниже мы остановимся на аналогичной судьбе исследований в рамках другой метафизической парадигмы, но уже реляционного миропонимания.

В последней четверти XX в. идея о многомерности физического пространства-времени опять оказалась в центре внимания физиков-теоретиков всего мира (см., например, [182]). Этому способствовал ряд обстоятельств. Перечислим главные из них.

1. В 70-х гг. были получены *новые результаты о природе слабых взаимодействий*. До этого полагалось, что они не затрагиваются 5-мерной теорией и имеют контактный характер (происходят в одной точке) в отличие от электромагнитного взаимодействия, переносимого векторным полем A_μ . Как уже отмечалось, в конце 50-х гг. была выдвинута идея, что слабые взаимодействия описываются произведением двух токов (из векторной и псевдовекторной частей). Взаимодействие частиц через токи навело на мысль об аналогии с электромагнитным взаимодействием, где между токами имеется поле — векторный переносчик взаимодействия. В повестку дня был поставлен вопрос о поиске специальных векторных полей, переносящих слабое взаимодействие между токами. Вскоре эти поля — нейтральные Z-бозоны и заряженные W-бозоны — были найдены.

Аналогия с электромагнитным взаимодействием заставила вспомнить опыт построения 5-мерной геометрической теории Калуцы, где новая размерность позволяла ввести в теорию дополнительное векторное поле. Это привело к мысли о перспективности описания геометрическим способом и электрослабых взаимодействий, только теперь, поскольку промежуточных векторных полей больше, нужно было использовать пространство-время большей размерности. Тогда многомерный метри-

докатился бум мировых исследований по многомерию, и журналы залистроили работами по теории Калуцы—Клейна.

ческий тензор G_{MN} будет иметь большее число компонент, которыми (их смешанными компонентами $\lambda_\alpha, \sigma_\alpha, \dots$) по аналогии с (10.2.3) можно описать векторные потенциалы переносчиков соответствующих взаимодействий:

$$G_{MN} = \begin{pmatrix} G_{\alpha\beta} & G_{\alpha 5} & G_{\alpha 6} & \cdots \\ \hline G_{5\beta} & G_{55} & G_{56} & \cdots \\ \hline G_{6\beta} & G_{65} & G_{66} & \cdots \\ \hline \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} g_{\alpha\beta} & \lambda_\alpha & \sigma_\alpha & \cdots \\ \hline \lambda_\beta & G_{55} & G_{56} & \cdots \\ \hline \sigma_\beta & G_{65} & G_{66} & \cdots \\ \hline \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \end{pmatrix}. \quad (10.7.1)$$

Это основная идея многомерных геометрических моделей физических взаимодействий типа теории Калуцы. Однако выяснилось, что имеется ряд возможностей практической реализации этой идеи. Выбор разных путей развития теории зависит от мировоззрения исследователей, от поставленных ими целей.

2. Примерно в это же время изменились представления и о сильных взаимодействиях. На смену идеи Юкавы о переносе сильных взаимодействий скалярными мезонными полями пришли идеи хромодинамики, согласно которым сильные взаимодействия переносятся векторными полями — глюонами. Это означало, что методы построения многомерных геометрических моделей можно применить и к описанию сильных взаимодействий.

3. В 70-х гг. интерес к многомерию возник также в связи с развитием теории калибровочных полей, предложенной Янгом и Миллсом. Довольно быстро было осознано, что многомерные теории типа Калуцы—Клейна можно понимать как геометризацию калибровочных полей, т. е. что в ряде отношений эти два вида теорий представляют собой два разных языка, описывающих одну и ту же физическую реальность.

Но имеется и существенное различие — геометрические представления всегда рассматривались как более фундаментальные, нежели обычно используемые физиками приемы и конструкции. Математику Манину приписывают слова: «Геометрия — это консервант скропортиящихся физических идей». Начались исследования способов геометризации калибровочных теорий с различными группами внутренних симметрий. Здесь был быстро преодолен барьер ограничений пятью измерениями. Широко стали использоваться многообразия большого числа измерений с различными топологиями.

4. Следующей причиной интереса к идеям многомерия явились исследования суперсимметричных теорий и теории супергравитации. В основе этого направления лежит найденная к тому времени группа суперсимметричных преобразований, перемешивающая компоненты фермионных и бозонных полей. Как уже отмечалось в гл. 6, в такой теории используются величины, зависящие как от четырех

классических координат, так и от дополнительных переменных, являющихся элементами алгебры Грассмана. Стало ясно, что данный прием в некотором смысле равносителен увеличению размерности используемого многообразия, где дополнительные размерности имеют неклассический характер. Более того, было показано, что решение ряда вопросов теории супергравитации может быть облегчено использованием геометрических методов и многообразий размерности $n > 4$. В частности, таким образом разрабатывался вариант так называемой максимально расширенной супергравитации ($N = 8$). Оказалось, что максимальное число измерений многообразия, из которого после размерной редукции (перехода к 4-мерию) получается разумная с точки зрения феноменологии теория, равно 11.

5. Имелся и ряд внутренних причин. К 80-м годам значительно возрос уровень математических средств, используемых в исследованиях по многомерию. Стали широко применяться групповые методы расщеплений многомерных теорий и их редукций на 4-мерие, использовались более совершенные методы получения решений уравнений Эйнштейна. Возникло естественное желание применить методы 4-мерной общей теории относительности для решения многомерных обобщений уравнений Эйнштейна.

Знаменательно, что из названных обстоятельств первые четыре возникли в недрах исследований теоретико-полевого миропонимания, но инициировали интерес к альтернативному геометрическому миропониманию.

10.7.2. 7-Мерная геометрическая модель грави-электрослабых взаимодействий

Увеличивая размерность искривленного пространства-времени, можно построить геометрическую модель, объединяющую эйнштейновскую общую теорию относительности с моделью электрослабых взаимодействий Вайнберга—Салама—Глэшоу. Охарактеризуем ее наиболее существенные черты.

1. Для решения данной задачи оказалось необходимым увеличить размерность пространства-времени на три единицы, т. е. *минимальная размерность*, где это возможно сделать, семь [29, 34]. Это диктуется двумя факторами.

Во-первых, нужно было описать два типа зарядов, характеризующих электрослабые взаимодействия в модели Вайнберга—Салама—Глэшоу. Напомним, что таковыми являются гиперзаряд Y и проекция изотопического спина T_3 . Из них получаются электрические заряды Q в единицах e . Двум зарядам соответствуют две константы взаимодействий g_1 и g_2 , из которых получаются значение e и другие заряды. Уже 5-мерная

теория Калуцы показала, что в многомерной теории заряды с точностью до коэффициента имеют смысл импульсов по дополнительным координатам. Это диктует использование двух дополнительных размерностей. Обозначим соответствующие им две координаты посредством x^5 и x^6 .

Во-вторых, необходимо описать массы частиц. Масса выступает как еще один — гравитационный — заряд. Ее предлагается ввести так, как это делалось в 5-мерной теории в варианте Клейна—Фока. Итого, получаются 3 дополнительные размерности.

2. В 7-мерной геометрической модели в качестве исходных выражений выбираются не многомерные уравнения Эйнштейна, а так называемая *гиперплотность лагранжиана*

$$\tilde{\mathcal{L}} = \frac{\sqrt{G^{(7)}}}{2} \left[-\frac{1}{\alpha c} R^{(7)} + i(\hbar c) \bar{\Psi} \Gamma^M \nabla_M \Psi + (\text{h.c.}) \right], \quad (10.7.2)$$

составленная из геометрической части (плотности 7-мерной скалярной кривизны $R^{(7)}$) и вклада внешней спинорной материи (физической части — от спинорных частиц, описываемых обобщенными волновыми функциями Ψ). Здесь вместо частных или удлиненных производных, стоящих в аналогичных формулах теоретико-полевого видения мира, стоит геометрическая (ковариантная) производная, обозначенная символом набла. Кроме того, здесь вместо 4-мерных (4-компонентных) матриц Дирака γ_μ введены 7-мерные (8-компонентные) матрицы Γ_M . Под корнем стоит определитель 7-мерного метрического тензора $G^{(7)}$.

3. Для превращения многомерных геометрических величин и выражений, входящих в (10.7.2) и в прочие соотношения, необходимо перейти к привычным 4-мерным понятиям общей теории относительности и стандартной модели Вайнберга—Салама—Глэшоу. Для этого нужно использовать методику описания обобщенных «систем отсчета», позволяющую осуществить процедуру 1+1+1+4-расщепления исходного 7-мерного многообразия, что делается с помощью уже не монадного, а *триадного метода*, представляющего собой трехкратное применение монадного метода. При этом компоненты 7-мерного метрического тензора представляются в виде, обобщающем (10.4.2):

$$G_{MN} = g_{MN} - \xi_M \xi_N - \lambda_M \lambda_N - \sigma_M \sigma_N, \quad (10.7.3)$$

где три 7-мерных вектора триады ξ_M , λ_M , σ_M характеризуют три дополнительные пространственно-подобные направления, ортогональные классическому 4-мерному пространственно-временному сечению с метрическим тензором $g_{\mu\nu}$.

В такой теории, как и в случае монадного метода в 5-мерии, используются лишь величины, спроектированные на направления триады или на 4-мерное пространство-время. 7-Мерная скалярная кривизна

в (10.7.2) расщепляется на 4-мерную скалярную кривизну, описывающую гравитацию, и на дополнительные слагаемые, содержащие три 7-мерные вектора триады из (10.7.3), которые соответствуют лагранжиану векторных полей переносчиков взаимодействий в модели Вайнберга—Салама—Глэшоу.

4. В 7-мерной теории возникает принципиально новый момент по сравнению с общей теорией относительности и 5-мерной теорией Калуцы, — необходимо ввести зависимость компонент 7-мерной метрики от дополнительных координат (нарушение условий цилиндричности) и допустить комплексность некоторых компонент метрики. Последнее обусловлено тем, что в этой теории через дополнительные компоненты метрики описываются также заряженные векторные W^\pm -бозоны (и заряженные хиггсовские скалярные бозоны). Смешанные компоненты метрики, точнее, векторы триады в (10.7.3), описывающие эти поля, согласно общему правилу многомерия, должны зависеть от дополнительных координат. Напомним, что в стандартной квантовой механике заряженные поля также описываются комплексными волновыми функциями. Ничего подобного не было ни в общей теории относительности, ни в 5-мерных теориях Калуцы и Клейна, так как в них взаимодействие переносится нейтральными бозонами.

5. Дополнительные размерности необходимо положить существенно отличающимися от классических, так как, в соответствии с представлениями многомерных геометрических теорий, они должны быть *компактифицированными*, т. е. замкнутыми с очень малым периодом. В обсуждаемой здесь 7-мерной модели используется простейшая топология 3-тора. На практике это означает циклическую (экспоненциальную с мнимым показателем) зависимость величин от дополнительных координат в виде, обобщающем формулы (10.2.7) и (10.5.2):

$$\Psi = \psi(x^\mu) \exp[i\beta x^4 + i\alpha(\varepsilon_5 x^5 + \varepsilon_6 x^6)], \quad (10.7.4)$$

где $\psi(x^\mu)$ — функции как геометрических, так и вводимых в геометрию извне полей, зависящие лишь от классических координат, α и β — малые параметры размерности [см^{-1}], характеризующие периоды компактификации по дополнительным размерностям (они совпадают со значениями, приведенными в формулах (10.2.7) и (10.5.2)), ε_5 , ε_6 — безразмерные параметры, определяющие два квантованных заряда.

6. Анализ показал, что 5-ю координату можно связать со взаимодействием с полем B_μ в модели Вайнберга—Салама—Глэшоу, тогда нужно ε_5 отождествить с гиперзарядом Y , а 6-ю координату можно связать со взаимодействием с триплетом полей $A(\alpha)_\mu$, тогда второй безразмерный параметр ε_6 должен быть отождествлен с удвоенной проекцией изотопического спина:

$$\varepsilon_5 = Y; \quad \varepsilon_6 = 2T_3. \quad (10.7.5)$$

В этом случае имеет место простая формула для значений электрического заряда Q в единицах e

$$Q = \frac{1}{2} Y + T_3 = \frac{1}{2} (\varepsilon_5 + \varepsilon_6). \quad (10.7.6)$$

Эта формула обобщает (10.4.5) в 5-мерной теории Калуцы и соответствует формуле (6.3.8) в модели Вайнберга—Салама—Глэшоу.

7. Поскольку в классической модели Вайнберга—Салама—Глэшоу электрослабые взаимодействия переносятся четырьмя промежуточными векторными полями: B_μ и триплетом $A(s)_\mu$, где $s = 1, 2, 3$, то, действуя по общим правилам введения геометрических полей в теории Калуцы (через столбцы дополнительных компонент метрики), следовало бы ожидать необходимость не трех, а четырех дополнительных размерностей. Однако в данном случае можно обойтись названными тремя размерностями (если бы не решать проблему описания масс, то хватило бы и двух дополнительных размерностей).

Понижение размерности достигается тем, что компоненты трех векторов триады в (10.7.3) фактически разлагаются по гармоникам зависимостей от дополнительных координат, при которых в качестве коэффициентов выступают физические векторные поля модели Вайнберга—Салама—Глэшоу, например,

$$\lambda_\mu = b_5 B_\mu + a_5 A(3)_\mu + w_5^+ W_\mu^+ \exp[2i\alpha x^6] + w_5^- W_\mu^- \exp[-2i\alpha x^6], \quad (10.7.7)$$

где присутствующие здесь и другие константы b_s , a_s , w_s^\pm находятся из условий соответствия геометрической теории с известной моделью Вайнберга—Салама—Глэшоу.

8. Имеется связь между размерностью и сигнатурой пространственно-временного многообразия, с одной стороны, и характером и числом компонент спиноров (в традиционном их понимании с позиций алгебр Клиффорда над полем вещественных чисел), определяемых в этом многообразии, с другой. В частности, в 7-мерном пространстве с рассматриваемой сигнатурой спиноры должны иметь 8 комплексных компонент. В обсуждаемой здесь теории этот 8-компонентный спинор расщепляется на пару общепринятых 4-компонентных спиноров, описывающих электроны и нейтрино.

9. Взаимодействие фермионных полей с бозонными (физическими) полями в геометрической модели получается из ковариантных производных в (10.7.2). В триадном методе расщепления из них выделяются так называемые триадные 4-мерные производные (триадный оператор дифференцирования) вида

$$\partial_\mu^{\dagger\dagger} = g_\mu^N \frac{\partial}{\partial N} = \frac{\partial}{\partial x^\mu} + \xi_\mu \xi^4 \frac{\partial}{\partial x^4} + \lambda_\mu \lambda^5 \frac{\partial}{\partial x^5} + \sigma_\mu \sigma^6 \frac{\partial}{\partial x^6}, \quad (10.7.8)$$

соответствующие удлиненным производным (6.3.2) в модели электрослабых взаимодействий Вайнберга—Салама—Глэшоу. Напомним, что аналогичным образом в 5-мерной теории Калуцы выделялась удлиненная производная (10.4.4).

10. Данные о зависимостях от x^5 и x^6 всех введенных выше полей (физических фермионных и геометрических бозонных) сведены в табл. (10.7.9).

Поля	ε_5	Y	ε_6	T_3
ν_L			+1	Изодублет
	-1	-1	-1	+1/2
e_L			-1	-1/2
	-1	-1		
ν_R			0	Синглеты
	0	0	0	0
e_R			-2	0
	-2	-2	0	0
A_μ			0	0
	0	0	0	0
W_μ^+			0	Изотриплет
	0	0	+2	+1
	0	0	-2	-1
Z_μ^0			0	0
	0	0		
ϕ_0			+1	Изодублет
	+1	+1	-1	-1/2
ϕ_+			+1	+1/2
	+1	+1		

(10.7.9)

В эту таблицу включены также аналоги хиггсовских скалярных бозонов, вводимых в 7-мерной геометрической модели через конформный фактор теории, что позволяет ввести массы покоя промежуточных векторных бозонов.

Гармоники фермионов и бозонов из этой таблицы графически проиллюстрированы на рис. 10.2. На этом графике по вертикальной оси отложены гармоники ε_6 , а по горизонтальной оси — гармоники ε_5 . Как видно из рисунка, осуществляется плотная упаковка полей (частич) по гармоникам вблизи их начала координат.

11. Окончательное выражение для плотности 4-мерного лагранжиана грави-электрослабых взаимодействий получается из 7-мерной гиперплотности лагранжиана (10.7.2) посредством усреднения по малым периодам зависимостей от дополнительных координат, использованного уже в теориях Калуцы и Клейна. После интегрирования гиперплотности лагранжиана по dx^4 , dx^5 и dx^6 все экспоненциальные слагаемые, не сократившиеся при умножении составляющих слагаемых, исчезают и получается выражение, зависящее лишь от 4 классических координат, которое и сравнивается с соответствующими плотностями, полученными

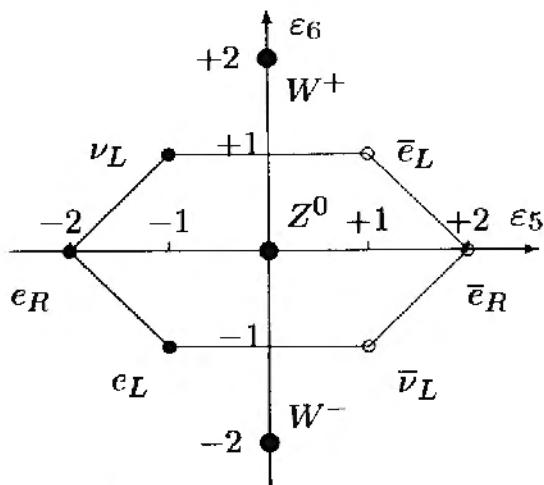


Рис. 10.2. Гармоники фермионов и бозонов в 7-мерной геометрической модели

в модели Вайнберга—Салама—Глэшоу. Этот прием соответствует операциям интегрирования по гравссмановым переменным в суперсимметричных теориях теоретико-полевого видения мира.

Отождествление геометрических и физических выражений позволяет конкретизировать значения коэффициентов, введенных в (10.7.7). На основе изложенных выше и некоторых других, более частных, идей и приемов удается достичь согласия геометрического и теоретико-полевого подходов к описанию электрослабых взаимодействий элементарных частиц. При этом геометрическую интерпретацию получают такие известные свойства модели Вайнберга—Салама—Глэшоу, как неабелевость калибровочных полей, нелинейные слагаемые и другие. Конечно, в такой теории автоматически содержится общая теория относительности.

10.7.3. 8-Мерная модель грави-сильных и электрослабых взаимодействий

Отдельно рассмотрим два вопроса: во-первых, геометризацию сильных взаимодействий и, во-вторых, объединение сильных и электрослабых взаимодействий в многомерной геометрической модели.

I. 8-Мерная геометрическая модель грави-сильных взаимодействий [34]

Задачи, решаемые при построении геометрической модели грави-сильных взаимодействий, аналогичны тем, что возникают в 7-мерной модели грави-электрослабых взаимодействий. Тем не менее отметим важнейшие из них.

А. Необходимо геометрическими методами описать три типа цветовых зарядов хромодинамики.

- Б. Поскольку в хромодинамике сильные взаимодействия переносятся 8 типами глюонов, необходимо найти геометрический образ этих физических векторных полей в многомерной геометрической модели.
- В. Калибровочная группа $SU(3)$ приводит к существенно нелинейным выражениям в бозонном секторе лагранжиана теории. Следовало показать, что все эти нелинейные слагаемые можно описать в рамках многомерной геометрической модели типа теории Калуцы–Клейна.
- Г. Следовало продемонстрировать, что в 8-мерной модели можно описать взаимодействие фермионов с глюонами в согласии с фермионным сектором хромодинамики.

Для решения перечисленных задач были использованы следующие идеи и методы.

1. Анализ показал, что размерности 7 недостаточно для решения данных задач. Необходимо использовать 8-мерную геометрическую модель с сигнатурой $(+ - - - | - - - -)$. Главным доводом в пользу трех дополнительных размерностей (к четырем классическим плюс координата x^4) явилась необходимость описания трех цветовых зарядов (для решения первой из перечисленных задач). Известно, что в теориях Калуцы–Клейна заряды соответствуют дополнительным компонентам импульсов. Три заряда — три новых размерности (импульса). Обозначим новые дополнительные координаты индексами x^7, x^8, x^9 , имея ввиду, что все предыдущие номера уже были заняты для описания классического 4-мерного пространства-времени, массового вклада и электрослабых взаимодействий.

2. В согласии с общим правилом, дополнительные размерностилагаются компактифицированными. Опять предлагается использовать топологию 4-тора. Это означает, что все поля, обладающие цветовыми зарядами, должны циклическим образом зависеть от дополнительных координат. Для описания трех цветовых состояний夸克ов $q_{(j)}$ предлагается использовать следующую их зависимость от дополнительных координат:

$$q_{(1)} \sim \exp(i\gamma x^7); \quad q_{(2)} \sim \exp(i\gamma x^8); \quad q_{(3)} \sim \exp(i\gamma x^9), \quad (10.7.10)$$

где γ — некая новая константа, определяющая период компактификации дополнительных размерностей, характеризующих сильные взаимодействия. Из-за симметрии в хромодинамике всех трех цветовых зарядов радиусы компактификации трех измерений взяты одинаковыми.

3. Анализ показал, что семи измерений недостаточно для построения одновременно как бозонного, так и фермионного секторов теории, соответствующих хромодинамике. Восьмое измерение (с координатой

x^4 клейновского типа) оказалось необходимым не только для описания массовых слагаемых фермионных полей, но и для согласования фермионного и бозонного секторов модели. Это новый элемент теории, не проявлявшийся в 7-мерной модели грави-электрослабых взаимодействий.

4. Восемь глюонов описываются компонентами многомерной метрики аналогично тому, как это делалось в 7-мерной модели грави-электрослабых взаимодействий. Напомним, что из 8 глюонов два являются нейтральными по цветовым зарядам, а шесть — заряженными. В согласии с определенной в (10.7.10) зависимостью夸ков от дополнительных координат, три пары заряженных (цветовым образом) глюонов должны иметь следующие зависимости:

$$\begin{aligned} X_\mu^\pm &\sim \exp[\mp i\gamma(x^7 - x^8)]; & Y_\mu^\pm &\sim \exp[\mp i\gamma(x^7 - x^9)]; \\ Z_\mu^\pm &\sim \exp[\mp i\gamma(x^8 - x^9)]. \end{aligned} \quad (10.7.11)$$

Как уже отмечалось в гл. 3, восемь глюонов можно связать с восьмеркой китайских триграмм, где три пары заряженных глюонов соответствуют шести триграммам, содержащим отрезки двух видов, а два нейтральных глюона можно сопоставить с двумя триграммами из одинаковых отрезков. На рис. 3.2 они изображены сверху и снизу.

5. В стандартном понимании спиноров (на основе алгебр Клиффорда над полем вещественных чисел) имеется жесткая связь между размерностью, сигнатурой многообразия и числом компонент спиноров. Для размерностей 4 и 5 спиноры являются 4-компонентными, для размерностей 6 и 7 — спиноры 8-компонентные, а для размерности 8 они оказываются 16-компонентными.

6. В согласии с духом общей теории относительности и многомерных теорий Калуцы—Клейна в качестве ключевого (базового) выражения модели выбирается *8-мерная гиперплотность лагранжиана* вида (10.7.2), слагающаяся из геометрической части (плотности скалярной кривизны $R^{(8)}$) и внешней к геометрии спинорной материи.

7. Как и в предыдущих многомерных геометрических моделях физических взаимодействий, в данном случае используется обобщение монадного метода редукции на 4-мерие. Теперь это будет тетрадный метод $1+1+1+1+4$ -расщепления.

8. Для получения окончательных формул используется метод усреднения (интегрирования) исходных 8-мерных выражений по дополнительным координатам. В итоге опять остаются лишь величины, зависящие от четырех классических координат.

Показано, что в рамках 8-мерной модели получается строгое соответствие геометрических выражений с теми, которые вводятся на основе калибровочного подхода к сильным взаимодействиям в теоретико-полевом видении мира.

II. Объединение сильных и электрослабых взаимодействий

Далее в рамках геометрического подхода, как это было и в теоретико-полевом миропонимании, встает задача построения единой теории грави-электрослабых и сильных взаимодействий. Самый очевидный вариант состоит в объединении охарактеризованных выше 7- и 8-мерных моделей в рамках 10-мерной геометрической теории, где 4 координаты классические, 1 координата массовая (клейновского типа), 2 координаты используются для описания зарядов электрослабых взаимодействий и 3 координаты — для описания трех цветовых зарядов хромодинамики ($4+1+2+3=10$). В таком варианте объединения 10-мерное искривленное пространственно-временное многообразие при должном способе расщепления обеспечит нужные слагаемые для всех четырех фундаментальных взаимодействий.

Однако этот вариант синтеза имеет характер простого механического объединения, не приводящего к вскрытию более глубоких свойств фундаментальных взаимодействий. Такая теория, можно сказать, соответствует духу птолемеевского описания движения планет и звезд, только теперь вместо циклов выступают геометрические размерности.

Более интересным представляется иной путь, основанный на рассмотрении единого объекта в рамках меньшего числа измерений, который при разных условиях может проявляться в виде полей, описывающих либо сильные, либо электрослабые взаимодействия. Тогда различные виды взаимодействий элементарных частиц можно рассматривать как проявления единой сущности в разных формах.

В качестве такой единой сущности, представляющей прообраз всех известных взаимодействий, предлагается рассматривать 8-мерное риманово многообразие с сигнатурой $(+ - - - | - - - -)$, подвергнутое процедуре тетрадного $4+1+1+1+1$ -расщепления. На исходном этапе четыре вектора тетрады являются чем-то общим, не интерпретируемым ни через глюоны, ни через промежуточные векторные бозоны модели Вайнберга—Салама—Глэшоу. Но затем эти векторы тетрады при определенных условиях оказываются представимыми через глюонные поля хромодинамики или в виде промежуточных векторных полей модели электрослабых взаимодействий Вайнберга—Салама Глэшоу.

Процедура получения сильных взаимодействий в 8-мерной модели описана выше, а переход от 8-мерной геометрической модели к электрослабым взаимодействиям в данном подходе осуществляется путем понижения размерности многообразия до семи. В наших работах (см. [34]) показано, что таким путем получается 7-мерная теория грави-электрослабых взаимодействий кварков. Поскольку понижение размерности до семи можно сделать тремя способами (координата x^4 при этом не затрагивается, как описывающая массовые вклады), то эти возможно-

сти предлагается интерпретировать как проявления трех поколений элементарных частиц.

Таким образом, данный подход в рамках геометрических моделей (метафизически выделенных) восьми измерений позволяет не только указать глубинную связь электрослабых и сильных взаимодействий, но и обосновать наличие именно трех поколений элементарных частиц.

10.8. Выводы и метафизический анализ многомерных геометрических моделей

Следуя общему правилу предыдущих частей книги, сделаем главные выводы из исследований дуалистического геометрического миропонимания и произведем его метафизический анализ.

10.8.1. Основные выводы из исследований многомерия

Из изложенного в этой главе можно сделать следующие основные выводы.

1. Многомерные геометрические модели типа теорий Калуцы и Клейна, показывают, что *фундаментальные физические взаимодействия, исключая гравитационное, можно понимать как проявления дополнительных размерностей искривленного физического пространства-времени*. Конкретные варианты многомерных геометрических моделей, объединяющие общую теорию относительности с теориями других взаимодействий, показывают, что

- 1) для описания электромагнитного взаимодействия необходимо учесть одно дополнительное пространственно-подобное измерение; это делается в рамках 5-мерной теории Калуцы или, при геометрическом способе описания масс, в рамках 6-мерной теории Калуцы—Клейна;
- 2) электрослабые взаимодействия описываются с помощью двух дополнительных пространственно-подобных координат, а геометрический способ введения масс фермионов диктует использование еще одной координаты, что формулируется в рамках 7-мерной единой теории грави-электрослабых взаимодействий, совмещающей закономерности эйнштейновской общей теории относительности и модели электрослабых взаимодействий Вайнберга—Саллама—Глэшоу;
- 3) для описания сильных взаимодействий необходимо учесть три дополнительные пространственно-подобные размерности в духе теории Калуцы и одну размерность в духе теории Клейна,—

в итоге получается 8-мерная геометрическая модель, объединяющая общую теорию относительности и классическую хромодинамику.

Названные геометрические модели представляют собой путь от теоремы Пифагора по лестнице размерностей физического пространства времени.

2. Дополнительная размерность x^4 , вводимая для геометрического описания масс покоя элементарных частиц, качественно отличается от других дополнительных размерностей, описывающих известные виды фундаментальных физических взаимодействий. Именно использование этой размерности позволяет с полным основанием назвать данные модели *теориями Калуцы—Клейна*.

3. В геометрическом видении мира открывается принципиально новый путь обединения сильных и электрослабых взаимодействий, исходя из геометрической теории 8 измерений, где сильные взаимодействия можно понимать как проявление частного случая 8-мерной теории, тогда как электрослабые взаимодействия получаются из исходной модели при понижении размерности путем склейки пар из трех дополнительных координат.

4. В рамках многомерного геометрического подхода решается проблема теоретического обоснования трех поколений элементарных частиц. Три поколения частиц обусловлены тремя разными способами понижения размерности с восьми до семи измерений путем склейки двух из трех дополнительных размерностей.

Заметим, что при этом переходе от сильных к электрослабым взаимодействиям происходит своеобразная замена восьмерки глюонов на китайской системе триграмм на рис. 3.2 (в сильных взаимодействиях) на систему поколений элементарных частиц в электрослабых взаимодействиях.

5. В многомерных геометрических моделях заряды (электрический и другие) имеют смысл дополнительных компонент импульсов частиц. Дополнительные координаты исключаются из теории усреднениями (интегрированиями) по периодам компактификации этих размерностей. Исходя из этого, можно высказать гипотезу, что *многомерность и соответствующие многомерные симметрии имеют место лишь для импульсного, но не координатного пространства*. Компактификацию дополнительных размерностей можно понимать как математический прием, позволяющий построить теорию с другого конца, исходя из (первоначально заданного) многомерного координатного (а не импульсного) пространства.

6. Опыт построения многомерных геометрических теорий свидетельствует о бесперспективности попыток обоснования компактифи-

кации дополнительных размерностей в рамках классического геометрического подхода (видения мира). В исследований подобного рода исходят из ничем не оправданной посылки о первичности некомпактифицированных координатных размерностей и пытаются объяснить их компактификацию, тогда как предпочтительней другой ход рассуждений — исходя из импульсного представления теории (первично компактифицированных координатных размерностей), пытаться обосновать появление четырех классических некомпактифицированных координатных размерностей.

7. С точки зрения изложенного здесь подхода, следует усомниться в физической обоснованности вариационных принципов в многомерных геометрических моделях до проведения процедуры 4-мерной редукции, а следовательно, и в правомерности использования многомерных уравнений Эйнштейна. Строго говоря, вариационные методы можно применять, когда введено классическое координатное пространство-время. А как показано выше, для дополнительных размерностей имеют смысл лишь компоненты импульсов и нет аналога координатного пространства-времени. Последнее можно ввести только для четырех классических размерностей.

10.8.2. Метафизический анализ дуалистического геометрического миропонимания

1. В многомерных геометрических моделях физических взаимодействий используется обобщенная категория частиц, волновые функции которых зависят не только от классических 4-мерных координат, но также и от дополнительных размерностей. Это существенное отличие от общей теории относительности, где категория частиц (материя) характеризуется зависимостью лишь от классических координат. На этом основании ОТО следует отнести к первому типу дуалистической геометрической парадигмы, опирающейся на одну обобщенную и одну простую категорию (частиц), а многомерные геометрические модели следует трактовать как теории из второго типа дуалистической геометрической парадигмы, опирающейся на два вида обобщенных категорий. Первый тип теорий (ОТО) иллюстрируется рис. 8.1, а второй тип теорий, рассмотренных в этой главе иллюстрируется кубом, изображенным на рис. 10.3, в котором заштрихованы две грани куба: задняя (как в ОТО) и передняя, олицетворяющая обобщенную категорию частиц.

2. В дуалистической геометрической парадигме, как и в теоретико-полевой, имеет место принцип фрактальности, причем опять следует различать принцип фрактальности по сущности и по качеству. Опять, как и в предыдущих главах, поясним принцип фрактальности с помощью 3×3 -матриц. Поскольку в дуалистической геометрической па-

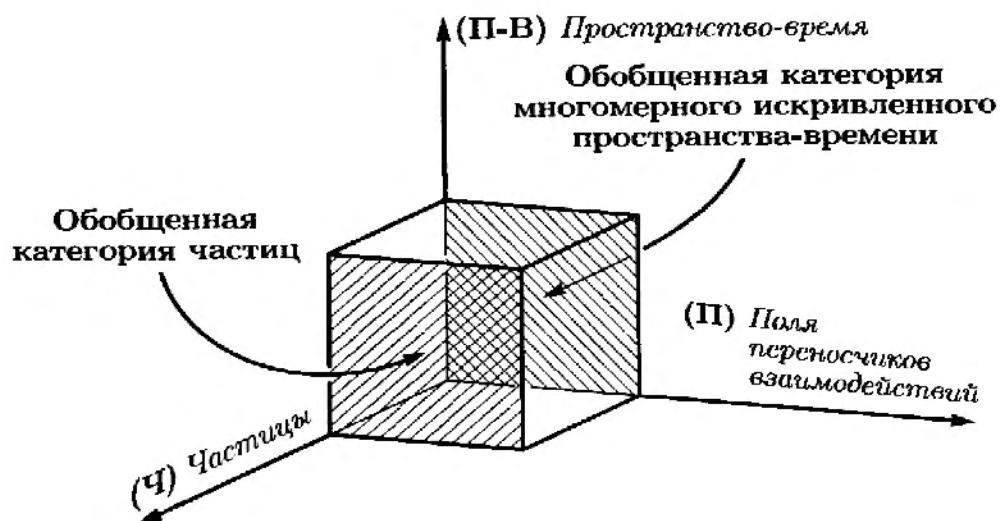


Рис. 10.3. Иллюстрация дуалистической парадигмы многомерных геометрических моделей

дигме используются две категории: обобщенная категория искривленного пространства-времени и обобщенная категория частиц, то в соответствующих этой парадигме таблицах значимыми будут лишь две строки (строка категории полей оказывается пустой). Вопреки ожидаемой аналогии, по вертикали по-прежнему приходится выделять три столбца. В таблицах для этой парадигмы двойными линиями разграничены строки и столбцы, соответствующие различным категориям.

3. Для геометрического миропонимания фрактальность по сущности характеризуется табл. (10.8.1).

Геометрическое миропонимание: фрактальность по сущности

	Пространство-время	Поля	Частицы
Искривленное пространство-время	Области (окрестности)	Метрика (расстояния, интервал) ↓↓	Точка-событие, мировая линия
	Область определения $g_{\mu\nu}$	Числовые значения $g_{\mu\nu}$	Аргумент точки
Категория поля	↑↑	↑↑	↑↑
Обобщенная категория частиц	Окружающий мир (Вселенная)	Система отсчета (тела)	Рассматриваемые частицы

(10.8.1)

То, что в таблицах триалистической парадигмы писалось во второй строке для исходной категории поля, теперь будет относиться к мет-

рике (к компонентам метрического тензора), представляющей подкатегорию категории искривленного пространства-времени. (В табл. (10.8.1) это показано направленными вниз стрелками во второй ячейке первой строки.) В связи с этим внутри категории пространства выделена строка, соответствующая этой подкатегории. В символично оставленных строках, соответствующих исключенной категории поля, везде простираются стрелки вверх, означающие передачу функций категории поля к подкатегории метрики (метрического тензора), изображенной строкой выше.

4. Фрактальность по качеству характеризуется табл. (10.8.2).

Геометрическая парадигма: фрактальность по качеству

	Пространство-время	Поля	Частицы
Искривленное пространство-время	4-Мерное пространство-время $\{x^\mu\}$	Скрытые размерности $\{x^s\}$	Пространство скоростей $\{u_A\}$
	Гравитационное «поле» $g_{\mu\nu}$	Физические поля — компоненты $G_{s\mu}$	Поле системы отсчета τ^μ
Категория полей	↑ ↑	↑ ↑	↑ ↑
Обобщенная категория частиц	Координаты (положения) частиц	Заряды частиц (тел)	4-скорости (тел)

(10.8.2)

Наиболее существенным отличием табл. (10.8.2) от случая триалистической парадигмы, кроме уже упомянутого выше, является то, что подкатегория пространства-времени Минковского в первой строке табл. (10.8.2) заменяется на (в общем случае) 8-мерное искривленное пространство-время, которое фактически расщепляется на классическое 4-мерное пространство-время и 4-мерное пространство скрытых размерностей.

Три выделенные части (стороны) категории пространства-времени так или иначе присутствуют и в других парадигмах.

5. Отдельно рассмотрим компоненты метрического тензора. Представленная в табл. (10.8.2) фрактальность по качеству категории частиц диктует своеобразную фрактальность по качеству компонент многомерного метрического тензора, интерпретируемых через физические поля. При таком описании поля также следует различать три составные части:

- 1) гравитационное поле оказывается выделенным из всех других полей — согласно общей теории относительности, оно описывается компонентами 4-мерного метрического тензора $g_{\mu\nu}$;

- 2) *физические поля* — переносчики электрослабых и сильных взаимодействий описываются смешанными компонентами метрического тензора $G_{s\mu}$ — их следует соотнести со второй составляющей категории поля;
- 3) поля сил инерции описываются компонентами поля *монаады системы отсчета* τ_μ .

6. Примечательно, что троичность можно усмотреть и в представлениях о каждой из трех названных составляющих. Так геометрические степени свободы, описываемые компонентами h_{ik} , неразрывно связаны с трехмерным пространством. Как известно, физические поля разделяются на три вида: электромагнитные, слабые (поля векторных промежуточных Z_μ - и W_μ^\pm -бозонов) и сильные (векторные поля глюонов). Системы отсчета характеризуются тремя и только тремя физико-геометрическими тензорами: ускорения a_i , угловой скорости вращения ω_{ik} и скоростей деформаций d_{ik} .

7. Особо следует подчеркнуть метафизический характер чрезвычайно любопытной симметрии между четырьмя классическими и четырьмя дополнительными размерностями. Эта симметрия касается не только равенства чисел 4 классических и 4 скрытых размерностей, но и выделенности в каждом из этих наборов по одной размерности. В классических координатах это времени-подобная размерность x^0 , а в дополнительных — это клейновская координата x^4 . Данная симметрия простирается даже до понятия сигнатуры. Хотя исходная координата x^4 пространственно-подобна, но за счет конформного фактора в ряде аспектов эта координата проявляется как времени-подобная.

Названная симметрия классических и скрытых размерностей может быть проиллюстрирована системой из восьми китайских триграмм (см. рис. 10.4), где выделенные координаты x^0 и x^4 сопоставлены с однородными триграммами, тогда как оставшиеся две тройки координат — со смешанными триграммами.

8. Есть основания полагать, что история развития теории физических взаимодействий могла бы оказаться иной и физика могла бы пойти по пути многомерных геометрических моделей типа теорий Калуцы и Клейна. В частности, об этом свидетельствует возрождение интереса к концепции многомерия с конца 70-х гг., не затихающего до настоящего времени. Пионерские работы 20-х — 30-х гг., видимо, оказались преждевременными. В них довольно быстро вскрылись проблемы, которые не могли быть немедленно решены имеющимися на тот момент средствами. Кроме того, каждое увеличение геометрической размерности всегда означало для исследователей преодоление высокого психологического барьера. Калибровочный же подход, во-первых, возник позже, когда был накоплен значительно

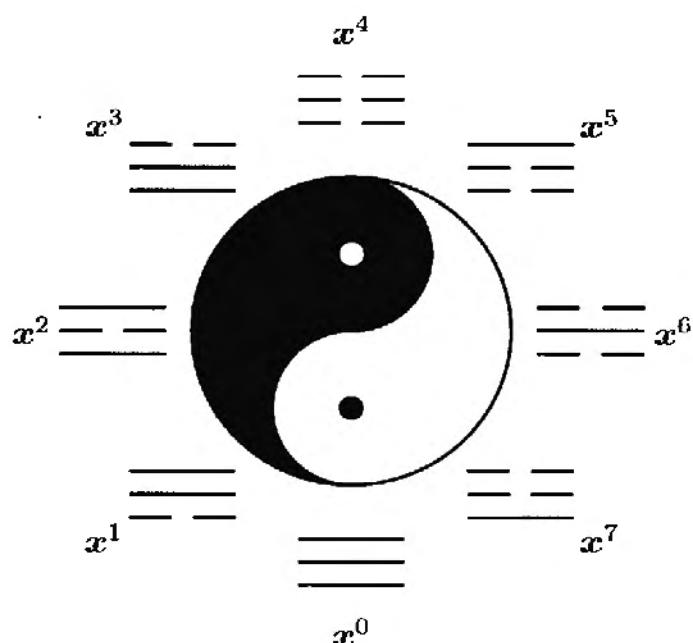


Рис. 10.4. Соответствие координат 8-мерной геометрической модели системе китайских триграмм

больший экспериментальный материал, и, во-вторых, представлялся менее проблематичным и позволял обойти дополнительные вопросы метафизического характера.

В рамках многомерия можно описать все главные следствия доминировавшего в XX в. калибровочного подхода к описанию физических взаимодействий, однако в геометрическом видении мира совершенно иные базовые понятия, принципы, способы рассуждений и приоритеты.

9. Многомерные геометрические модели типа теории Калуцы—Клейна, несомненно, отражают свойства реального мира, но исследователей, как правило, не покидает мысль, что эти модели представляют собой лишь вершину айсберга. Его подводная часть оказывается скрытой для всех, кто ограничивается рамками лишь геометрического подхода.

В связи с этим хотелось бы привести слова, которыми заканчивалась уже ставшая классической статья Т. Калуцы: «Полностью учитывая все физические и теоретико-познавательные трудности, громоздящиеся на нашем пути при изложенном подходе, все же нелегко примириться с мыслью, что все эти соотношения, которые вряд ли можно превзойти по достигнутой в них степени формального единства,— всего лишь капризная игра обманчивой случайности. Но если удастся показать, что за предполагаемыми взаимосвязями стоит нечто большее, нежели пустой формализм, то это будет новым триумфом общей теории относительности Эйнштейна, о логическом применении которой к случаю

пятимерного мира здесь шла речь» [77, с. 534]. Последнее утверждение следует обобщить на мир большей размерности.

Как нам представляется, в рамках реляционного видения мира (в бинарной геометрофизике [33, 36], — см. гл. 16) вскрываются более глубокие понятия и закономерности, ответственные за проявление многомерности мира. Их можно понимать как подводную часть айсберга многомерной геометрии.

Глава 11

Единая геометрия мира: проблемы и гипотезы

Данная глава посвящена анализу попыток перехода к монистической парадигме со стороны геометрического миропонимания. Эта программа является более грандиозной, чем геометризация и объединение полей переносчиков взаимодействий. Прежде всего, она нацелена на геометризацию еще и категорий частиц — источников бозонных полей, которые в общей теории относительности и в теориях Калуцы—Клейна вводились волевым образом.

В XX в. эта задача увлекала многих исследователей. Можно сказать, что в ней на уровне представлений XX в. возрождались взгляды Декарта, отождествлявшего пространство с субстанцией, о чём Эйнштейн писал: «Декарт был не так далёк от истины, когда полагал, что существование пустого пространства должно быть исключено. Эта точка зрения действительно казалась абсурдной до тех пор, пока физическую реальность видели исключительно в весомых телах. Потребовалась идея поля, чтобы показать истинную сущность идеи Декарта: не существует пространство, „свободное от поля“» [205, с. 758].

Идея о всеобщей геометризации физики была высказана В. Клиффордом, предложившим в середине XIX в. «рассматривать как изменения физического характера те действия, которые на самом деле обязаны своим происхождением изменениям кривизны нашего пространства». А. Эйнштейн, познакомившийся с работами Клиффорда еще до создания общей теории относительности в бернский период жизни (1902–1909), посвятил идею геометризации свои последние тридцать лет. Наибольшую трудность для великого ученого представляла проблема геометризации массивной материи (частиц). Напомним, что Эйнштейн считал правую часть уравнений дефектом своей теории. Он писал: «Правая часть (уравнений Эйнштейна, — Ю. В.) включает в себя все то, что не может быть пока объединено в единой теории поля. Конечно, я ни одной минуты не сомневался в том, что такая формулировка есть только временный выход из положения, предпринятый с целью дать общему

принципу относительности какое-то замкнутое выражение. Эта формулировка была ведь по существу не более чем теорией поля тяготения, несколько искусственно оторванного от единого поля еще неизвестной структуры» [210, с. 286]. Эйнштейн всячески избегал везде, где это было возможно, написания тензора энергии-импульса $T_{\mu\nu}$ в правой части своих уравнений. Он говорил, что его теория покоится на двух ногах: одной «монолитной» (левой, геометрической части уравнений) и другой «глиняной» (правой, физической части уравнений).

Данная парадигма имеет два уровня: классический и квантовый. Первые параграфы этой главы посвящены классическим аспектам, а следующие — квантовым. Известно, что сам Эйнштейн главное внимание уделял классическим аспектам, полагая, что принципы квантования следует искать на путях развития геометрии.

11.1. Экстремальная геометрическая парадигма

Наглядно поясним суть экстремальной, клиффордовской программы геометризации всей физики. Для этого сравним физические картины мира в рамках различных его видений: 1) в триалистической парадигме, опирающейся на три физические категории, 2) в дуалистической (теоретико-полевой) парадигме, основанной на двух категориях: пространства-времени и некоего единого поля, 3) в дуалистической парадигме геометрического миропонимания, рассмотренного в предыдущих главах этой части, и 4) в экстремально геометрической парадигме (в монистической парадигме, как она представляется со стороны геометрического миропонимания). Они проиллюстрированы с помощью рис. 11.1, 11.2, 11.3 и 11.4, где три физические категории изображаются различным образом: категория частиц — в виде шаров черного цвета, категория полей — силовыми линиями и категория пространства-времени — белым листом с крупной (координатной) сеткой.

1. Триалистическая парадигма проиллюстрирована на рис. 11.1, где на плоскости, олицетворяющей плоское пространство-время, изображены две другие физические категории. Как уже отмечалось, в XX в. физики понимали, что трех категорий слишком много, и пытались ограничиться их меньшим числом.

2. Теоретико-полевая парадигма, основанная на плоском пространстве-времени и едином поле) проиллюстрирована на рис. 11.2. В ней отсутствует категория частиц (нет черных шариков). Вместо них на плоскости (на фоне плоского пространства-времени) изображены два сгустка полей, представляющих две частицы. В этой парадигме, принадлежащей теоретико-полевому миропониманию, роль категории частиц берет на себя обобщенная категория полей переносчиков взаимодействий. Напомним, при развитии теории в рамках дан-

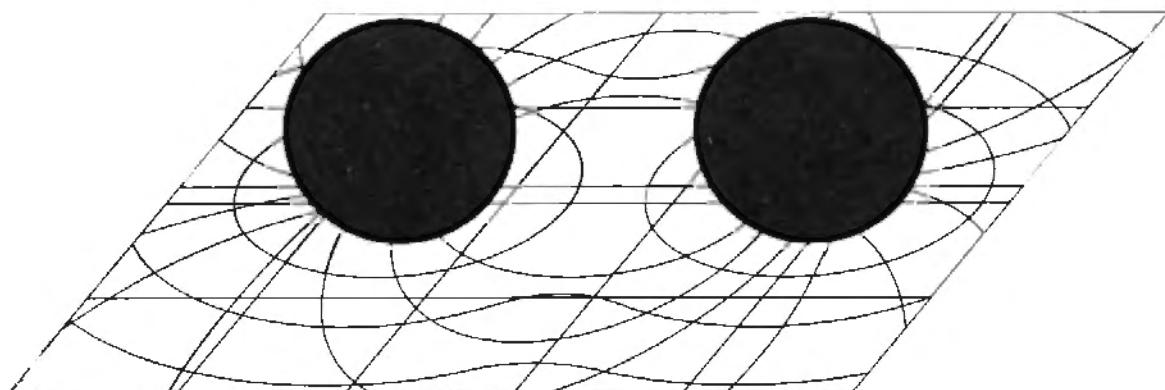


Рис. 11.1. Три ключевые физические категории: пространства-времени, частиц и полей переносчиков взаимодействий

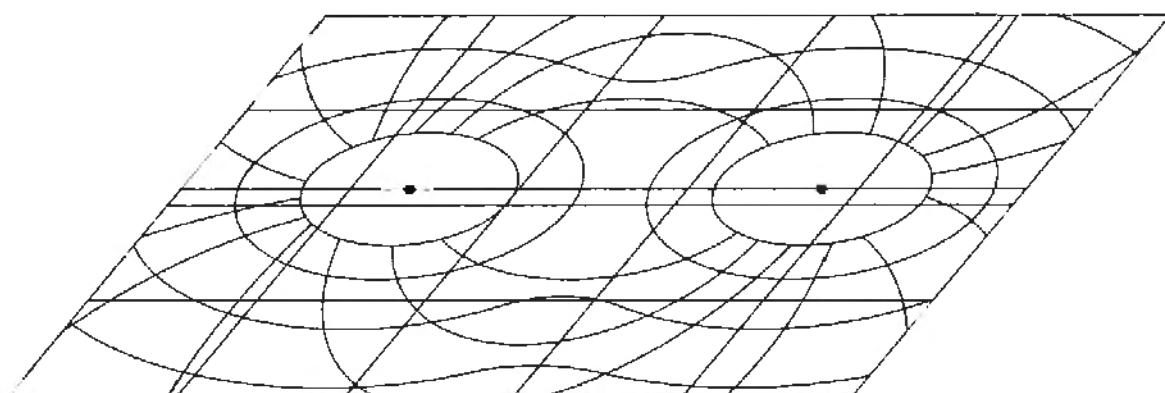


Рис. 11.2. Две категории физического миропонимания: единое поле и пространство-время

ной парадигмы, охарактеризованной в гл. 7, вскрылись существенные трудности в описании спинорных свойств частиц (фермионных полей) и в квантовании теории.

3. Геометрическое миропонимание на основе двух категорий: искривленного пространства-времени и частиц пояснено на рис. 11.3, где черные шарики, представляющие частицы, изображены на продавленной ими пленке, олицетворяющей искривление пространства-время. На этом рисунке отсутствует категория полей (нет силовых линий), функции которой взято на себя искривленное (обобщенное) пространство-время. Напомним, к теориям такого рода относятся общая теория относительности и многомерные теории Калузы–Клейна.

4. Экстремально геометрическая парадигма, основанная на обобщенной категории единой геометрии мира, обсуждаемая в этой главе, пояснена на рис. 11.4. На нем нет ни черных шариков (частиц), ни силовых линий (полей). Как частицы, так и поля представляются в виде искривлений (закрученности, неметричности и т. д.) обобщенного пространства-времени.

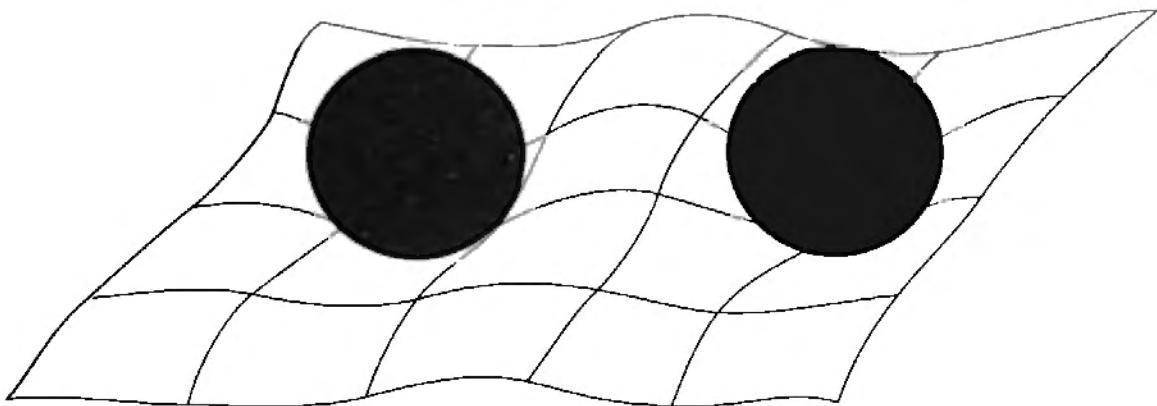


Рис. 11.3. Две категории геометрического миропонимания: искривленное пространство-время и частицы

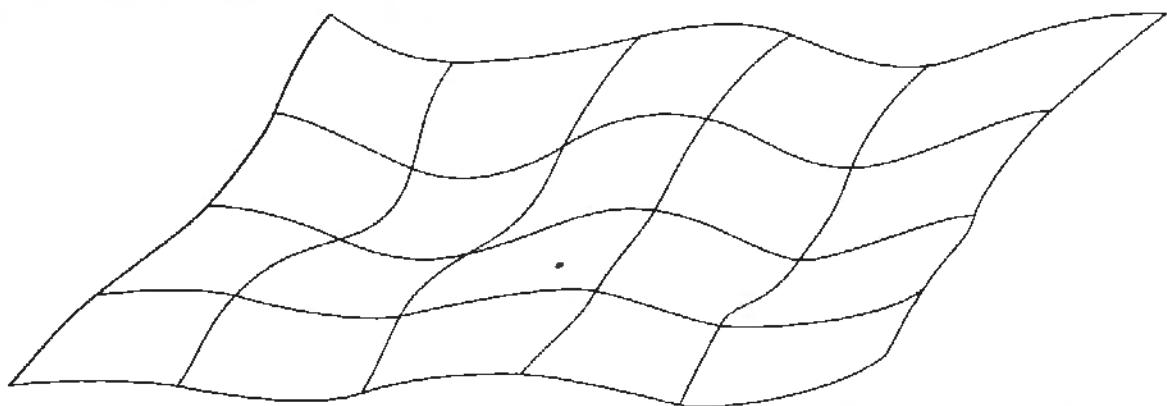


Рис. 11.4. Единая геометрия мира, вобравшая в себя все три физические категории

Назовем четыре программы, претендовавшие в XX в. на решение задачи перехода к монистической парадигме со стороны геометрического миропонимания: 1) геометродинамика Уилера, строящаяся в рамках 4-мерного пространства-времени, 2) программа описания частиц через фридмоны Маркова, 3) многомерные геометрические модели, обобщающие теории Калуцы–Клейна, и 4) теория супергравитации. Эти программы различались способами геометрического описания негравитационных полей и массивной материи (частиц).

11.2. Геометродинамика Уилера

Самым видным и последовательным сторонником клиффордовской идеи всеобщей геометризации материи (монистической парадигмы в геометрии) во второй половине XX в. являлся Дж. Уилер, развивавший в рамках этого подхода своеобразную теорию, названную *геометродинамикой*. В его совместной статье с Ч. Мизнером «Классическая физика как геометрия» наиболее четко сформулированы взгляды его школы:

«Классическая физика как совокупность теории гравитации, электромагнетизма, неквантованного заряда и массы. Все эти четыре понятия описываются с помощью пустого искривленного пространства без каких-либо добавлений к принятой теории» [165, с. 218]. Основные черты этой теории характеризуются Уилером следующим образом: «1) Пространство-время не есть арена для физики, это *вся классическая физика*. 2) Не существует нуждающихся в объяснении «мировых констант»: ни c , ни G . . . 3) Не существует «констант связи», как нет и независимо существующих полей, взаимодействующих друг с другом. Электромагнитное поле не является особым объектом» [165, с. 334]. «Настоящая хорошо установленная исконно единая классическая теория (геометродинамика. — Ю. В.) позволяет описывать с помощью пустого искривленного пространства

- 1) гравитацию без гравитации,
- 2) электромагнетизм без электромагнетизма,
- 3) заряд без заряда,
- 4) массу без массы» [165, с. 229].

Фундаментом теории Уилера является 4-мерное искривленное пространство-время. Как известно, уравнения Эйнштейна допускают решения и в отсутствие правой части, т. е. без материи. Для описания «электромагнетизма без электромагнетизма» были привлечены результаты Г. Райнича, полученные еще в 20-х гг. Райнич заметил, что из уравнений Эйнштейна (9.2.9) в электровакууме

$$R_{\mu\nu} = -\frac{2G}{c^4} \left(F_{\mu\alpha}F_{\nu}^{\alpha} - \frac{g_{\mu\nu}}{4} F_{\alpha\beta}F^{\alpha\beta} \right) \quad (11.2.1)$$

можно алгебраически выразить компоненты тензора электромагнитного поля $F_{\alpha\beta}$ через компоненты тензора Риччи (кривизны $R_{\mu\nu}$). В интерпретации Уилера это означает возможность понимать электромагнитное поле как своеобразные электромагнитные «следы» на искривленном пространстве-времени.

«Массу без массы», т. е. частицы, Уилер предлагает вводить, используя более сложную топологию пространства-времени. Позволим себе напомнить, что топология изучает общие геометрические свойства объектов и многообразий, не зависящие от их метрики. В данном случае речь идет о таких свойствах поверхностей (гиперповерхностей), которые отличают, допустим, плоскость от сферы. Так, однополостный гиперболоид имеет одинаковую топологию с плоскостью, тогда как топология сферы иная. Можно указать другие топологии, например, у тора (бульбика). Уилер использовал топологию, которую можно уподобить ручкам на поверхности (см. рис. 11.5).

Никакими деформациями поверхности (изменениями ее метрики) невозможно избавиться от ручек, не разрывая и не склеивая точек

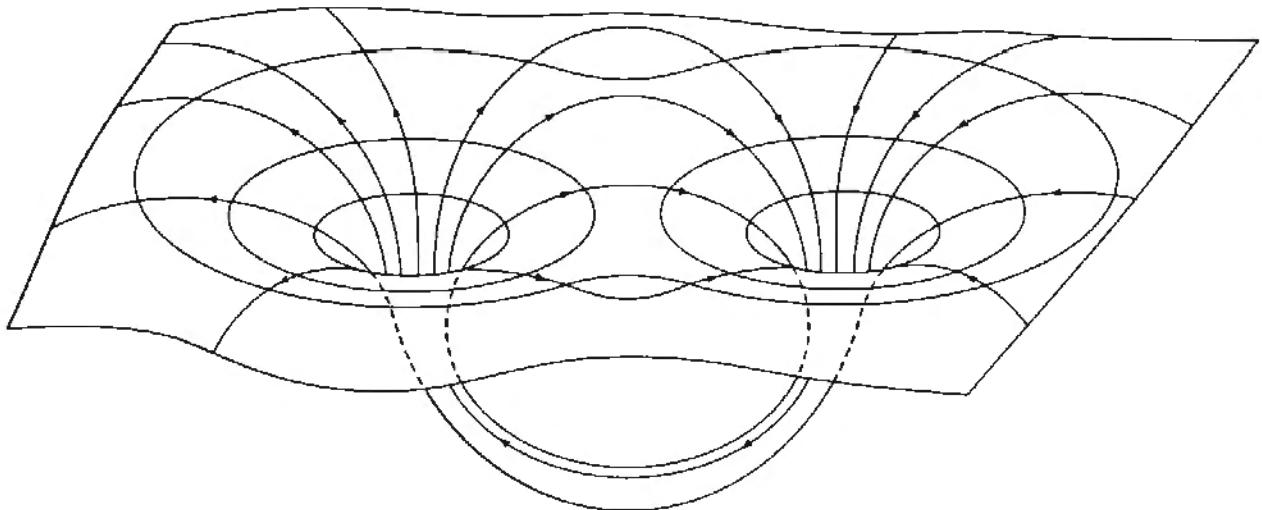


Рис. 11.5. Заряды в геометродинамике Уилера

поверхности. В геометродинамике предложено трактовать частицы как устья этих ручек, т. е. как входы и выходы своеобразных «кровервых нор». Частиц много, отсюда следует, что в геометродинамике реальный мир должен рассматриваться как многосвязный с большим количеством ручек.

«Заряды без зарядов» предлагается описывать введением в геометрию электромагнитных силовых линий, которые пронизывают ручки. Тогда устье, куда входят силовые линии, можно трактовать как заряженные частицы одного типа заряда (отрицательного), а устья, откуда выходят линии, — как заряды другого знака (положительного).

В теории Уилера имеется много любопытных соображений о метрических и топологических свойствах пространства-времени и об их интерпретации. Геометродинамика Уилера нашла много сторонников как за рубежом, так и у нас в стране.

Нужно отметить, что уже на классическом уровне геометродинамика Уилера натолкнулась на существенные трудности. Это заставило его и его сотрудников временно заняться исследованиями моделей промежуточного характера. В частности, к таковым относился поиск частицеподобных решений совместных систем из уравнений Эйнштейна, Maxwella и других полей.

Из наиболее серьезных трудностей геометродинамики сам Дж. Уилер называет следующие: «Она ничего непосредственно не дает нам для понимания спина без спина, элементарных частиц без элементарных частиц и каких-либо других явлений квантовой физики» [165, с. 229]. Из этих трудностей, на наш взгляд, наиболее принципиальный характер имеет вопрос об описании спинорных частиц (фермионов). Уилер понимал важность этого вопроса. По этому поводу он писал: «Затронув вопросы о порядках величин масс частиц и о ядерных силах,

мы приходим к последнему и решающему вопросу — к проблеме спина. Каким образом классическая теория, рассматривающая поля с целыми значениями спина, способна после квантования привести к спину $1/2$, как это требуется для объяснения свойств нейтрино, электрона и других фермионов?... Если это не будет иметь места, то чистая квантовая геометродинамика должна рассматриваться как схема, недостаточная для построения основы физики элементарных частиц. Поэтому вопрос о происхождении спина является решающим при оценке возможностей квантовой геометродинамики» [165, с. 347].

В рамках геометродинамики так и не удалось решить эту проблему, что послужило одним из оснований для перехода Уилера и его сторонников к исследованиям теории супергравитации.

11.3. Фридмоны Маркова

В работах М. А. Маркова предложен другой путь геометрического представления частиц, также основанный на топологии и также имеющий метафизический характер.

Марков сравнивал процесс уточнения аксиоматики геометрии с поиском первоматерии в физике. Как уже отмечалось при сравнении способов рассуждений Платона и Аристотеля, аксиоматика основана на способе мышления по лучу: от исходных недоказуемых положений (примитивов геометрии) по заданным правилам рассуждений доказываются теоремы и строится здание геометрии. При этом встает вопрос: как относиться к аксиомам? Они являются истинами в последней инстанции, и тогда геометрия на их основе абсолютна? Или можно переходить к еще более элементарным аксиомам, когда вершину направленного вправо луча можно сдвигать влево и строить все более совершенные геометрии на основе еще более элементарных аксиом? Имеет ли этот процесс границу (предел) или он безграничен? В первом случае ставится предел развитию геометрии, а во втором — фактически утверждается непознаваемость основ геометрии.

В гл. 4 была рассмотрена подобная альтернатива в физике элементарных частиц: называлась линия Демокрита, отстаивавшего идею первоматерии в виде неделимых атомов, и линия Анаксагора¹⁾, говорившего о бесконечно большом числе видов первоэлементов. Марков предложил третий путь решения данной проблемы: «От древнейших времен до настоящего времени существуют две альтернативные концепции о природе материи. Одна из них связана с верой в существование бесконечной иерархии форм материи. Сторонники этой концепции, говоря языком Лукреция, «никогда никакой границы дроблению не

¹⁾ В работах М. А. Маркова эта идея связывалась с именем Эмпедокла.

ставят». А другая концепция связана с верой в существование предела «дробления» в виде абсолютных атомов или с более общим утверждением о возможном существовании некой первоматерии. Теперь удается сформулировать совершенно новую, третью концепцию, не сводящуюся ни к одной из двух. Как и предыдущие, третья концепция лежит тоже в области веры (гипотезы), но она так же логически допустима, как и те две. Преимущество второй и третьей концепций перед первой заключается в возможности (в конце концов) их экспериментальной проверки» [104, с. 449].

Для обоснования третьего пути Марков приводит два соображения, вытекающих из анализа физики элементарных частиц второй половины XX в.

Первое соображение. Как пишет Марков, «в последние десятилетия возникла принципиально новая идея, дающая возможность своеобразным путем продолжить линию Эмпедокла. Но в отличие от традиционной идеи о структуре материи, согласно которой объекты строились из частиц все меньших и меньших масс, возникла идея строить частицы данных масс из более фундаментальных частиц, обладающих большими массами (курсив Ю. В.). Уменьшение массы результирующей системы возникает за счет сильного взаимодействия тяжелых частиц, составляющих систему. В результате этого сильного взаимодействия часть общей массы покидает систему в виде различного рода излучений. (...) Спрашивается: кварковая форма материи (если эта гипотеза подтвердится) — это первоматерия? Или кварки должны состоять из более фундаментальных частиц, и этот процесс создания частиц лежит на линии развития идеи Эмпедокла? Но линия Эмпедокла в таком варианте привела бы к существованию фундаментальных частиц бесконечно больших масс...» [104, с. 443].

Второе соображение. «В последующие годы возникла идея, которая, правда, относится пока к кругу проблем, связанных с сильными взаимодействиями. И эта идея неожиданным образом дает возможность понять, что решение проблемы может совсем не находиться ни в сфере идей Эмпедокла, ни в сфере идей Демокрита. Речь идет о так называемой ядерной демократии. Взаимная превращаемость известных элементарных частиц, возможность рождения и исчезновения их в отличие от прежнего (например, ньютоновского) атомизма — совершенно новая и фундаментальная черта атомизма современного. Она ведет к существенной взаимной обусловленности свойств различных элементарных частиц, которая в последние годы обнаруживается физиками все чаще и чаще. (...) Идея, что «Все» состоит из «Всего», стала чуть ли не тривиальностью. Но следует заметить, что адекватного этим идеям математического аппарата пока не построено» [104, с. 444].

Марков предлагает геометрическую модель, реализующую данную идею и фактически открывющую третий путь, отличный от демокритовского и от анаксагоровского (эмпедокловского). Им выдвинута неожиданная идея представить элементарные частицы в виде «почти замкнутых» вселенных фридмановского типа — фридмонов. Он следующим образом обосновывает эту идею: «Как известно, из-за большого гравитационного дефекта масс полная масса замкнутой Вселенной равна нулю. Если рассматривать вариант Вселенной, не полностью замкнутой, «почти» замкнутой, то в зависимости от этого «почти» полная масса такой Вселенной может быть как угодно малой, в частности, например, микроскопических размеров. Более того, с точки зрения внешнего наблюдателя такая малая масса заключена «внутри» сферы также микроскопических размеров. (...) Есть основания думать, что конечное значение заряда может быть близко к заряду элементарной частицы. Такую систему в ее конечном состоянии будем называть фридмоном. Фридмон с его удивительными свойствами не является, однако, порождением поэтической фантазии — без всяких дополнительных гипотез система уравнений Эйнштейна—Максвелла содержит фридмонные решения. (...) Мы видим, что современная физика дает возможность совершенно по-новому трактовать содержание понятия «состоит из...». Вселенная в целом может оказаться микроскопической частицей. Микроскопическая частица может содержать в себе целую Вселенную. Сама возможность такого объединения противоположных свойств — свойств ультрабольшого и ультрамалого объекта, ультрамакроскопического и ультрамикроскопического — представляется не менее удивительной, чем объединение в одном объекте свойств корпускулы и волны. (...) Гравитационный дефект масс делает в принципе возможным существование такой модели Вселенной в целом. В такой концепции нет первоматерии и иерархия бесконечно разнообразных форм материи как бы замыкается на себя» [104, с. 446–448].

Здесь фактически Марков на новой основе возвращается к спору между Платоном и Аристотелем о характере рассуждений — по кругу (как у Платона) или по лучу (как у Аристотеля) — и приводит аргументы и конкретный пример геометрической модели в пользу характера рассуждений и доказательств Платона.

Подобная идея была выражена в поэтической форме еще раньше В. Брюсовым в его стихотворении «Мир электрона», навеянным другим физическим открытием — расшифровкой строения атома:

«Быть может, эти электроны —
Миры, где пять материков,
Искусство, знанья, войны, троны
И память сорока веков!

Еще, быть может, каждый атом
Вселенная, где сто планет;
Там все, что здесь в объеме скатом,
Но также то, чего здесь нет».

Идея Маркова имеет слабое место, заключающееся в определении понятия «почти замкнутая» Вселенная, и остается открытым вопрос, как математически описать это понятие и ввести взаимодействия таких «почти замкнутых» вселенных.

11.4. Имитация массивной материи геометрическими факторами

Если в геометродинамике Уилера и в работах Маркова предлагалось вводить материю (категорию частиц) через топологические особенности 4-мерного искривленного пространства-времени, то в работах ряда других авторов исследовались иные способы. Назовем некоторые из них.

1. Имитация материи через конформный фактор. Этот способ основан на использовании *конформных преобразований*. Поясним это понятие. Конформные или масштабные преобразования состоят в изменении масштаба *длин* в пространстве (-времени). С этими преобразованиями знакомы даже дети по известной сказке Свифта «Путешествия Гулливера». По сути дела, путешествия Гулливера в страны лилипутов и великанов основаны на конформных преобразованиях длин (в пространстве, но не во времени). В Лилипутии масштаб был сокращен для всех ее жителей, но не для Гулливера, а в Великании масштаб был увеличен для жителей, а для Гулливера он оять остался неизменным.

Эта идея имеет строгую математическую обработку, причем в двух эквивалентных формах. Можно говорить об изменениях масштаба координат, полагая, что метрический тензор остается неизменным, а можно, наоборот, считать координаты неизменными и преобразовывать компоненты метрики. Поскольку в геометрии длины (или интервалы) задаются формулами типа $ds^2 = g_{\mu\nu}dx^\mu dx^\nu$, то эти два способа оказываются эквивалентными, но в римановой геометрии второй способ предпочтителен. Пойдем по второму пути.

Пусть задана многомерная метрика $d\tilde{I}^2 = \tilde{G}_{AB}dx^A dx^B$, тогда конформное преобразование определяется следующим образом

$$\tilde{G}_{AB} = \chi^2(x)G_{AB} \equiv \exp[2\sigma(x)]G_{AB} \rightarrow d\tilde{I} = \chi(x)dI, \quad (11.4.1)$$

где $\chi(x) = \exp[\sigma(x)]$ — *конформный фактор* — некоторая скалярная функция координат. Две метрики \tilde{G}_{AB} и G_{AB} , определенные на одном и том же координатном многообразии, называются *конформно соответствующими* друг другу. В сказке Свифта фактически использовалось преобразование (11.4.1) для 3-мерной метрики ($G_{AB} \rightarrow h_{ik}$), при этом метрика с тильдой была привычна Гулливеру, а метрика без тильды соответствовала миру, куда он попадал. В двух мирах конформный фактор был разный: в одном — меньше единицы, а в другом — больше.

Следует отметить, что конформные преобразования следует понимать как еще один вид преобразований в физической теории, дополнительный к координатным преобразованиям. Заметим, что важнейшие уравнения физики для безмассовых частиц (уравнения Максвелла без источников, Клейна–Фока, Дирака) инвариантны (неизменны) относительно конформных преобразований. Но как только вводится масса покоя частиц, конформная инвариантность нарушается. Напомним, что исходные поля в модели электрослабых взаимодействий Вайнберга–Салама–Глэшоу были безмассовыми и масса покоя возникала только в результате взаимодействия со специально вводимым для этой цели скалярным полем Хиггса.

Уравнения Эйнштейна не обладают свойством конформной инвариантности. Если полагать, что уравнения Эйнштейна записываются для 4-мерной метрики с тильдой (в вакууме), то из-за дифференцирования произведения метрики без тильды на конформный фактор $\chi(x) = \exp[\sigma(x)]$ в уравнениях возникают дополнительные слагаемые:

$$\tilde{R}_{\mu\nu} - \frac{1}{2} \tilde{g}_{\mu\nu} \tilde{R} = \left(R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R \right) + f(\chi) = 0, \quad (11.4.2)$$

где $f(\chi)$ — некоторая функция, содержащая конформный фактор, первые и вторые производные от него по координатам. Перебрасывая слагаемое с конформным фактором в правую часть уравнений Эйнштейна, приходим к формальной записи 4-мерных (или n -мерных) уравнений Эйнштейна с правой частью. Последнюю можно интерпретировать как вклад от тензора энергии-импульса $T_{\mu\nu}$ массивной материи, если должным образом перейти от конформного фактора к характеристикам материи.

Основная проблема здесь состоит в определении «должного» перехода к характеристикам массивной материи. В 4-мерной теории при вещественных значениях конформного фактора возникают трудности со знаком тензора энергии-импульса конформного скалярного поля, однако в многомерных геометрических моделях имеются возможности преодолеть данную трудность, поскольку в них исходная многомерная метрика и все остальные геометрические величины не обязаны быть вещественными, — главное, чтобы после процедуры редукции на 4-мерие оставались лишь вещественные величины. На этом пути удается построить удовлетворительные классические модели (см. [34]) с геометризованной массивной материей.

2. Описание материи через дополнительные компоненты многомерной метрики. В работах некоторых авторов предлагалось геометризовать массивную материю не через конформный фактор, а через дополнительные скалярные поля, возникающие в многомерных

геометрических моделях. В гл. 10 уже говорилось о дополнительном скалярном поле φ , описываемом диагональной компонентой 5-мерного метрического тензора

$$G_{55} = -\varphi^2. \quad (11.4.3)$$

В геометрических моделях более высоких размерностей подобных скалярных полей больше. Таким образом, открывается возможность описывать ими различные виды массивных полей (частиц).

3. Комбинированный способ описания материи. Наконец, имеется возможность совместить названные два варианта введения массивных частиц. Так, в 5-мерной геометрической модели можно выбрать конформный фактор, совпадающий с дополнительной компонентой диагональной метрики:

$$\chi^2(x) = -\tilde{G}_{55} = \varphi^2(x), \quad (11.4.4)$$

тогда после конформного преобразования (11.4.1) получается 5-мерная геометрия с часто использовавшимся условием $G_{55} = -1$, а скалярное поле, перенесенное в правую часть, геометрически имитирует физическое поле, рассматриваемое в стандартной общей теории относительности как негеометрическое. Главное в такой теории состоит в способе представления величин $\chi(x)$ или $\varphi(x)$ через физические поля и выбор их зависимости от координат, как классических, так и дополнительных.

4. Пятимерная теория Бессона [22] основана на использовании нециклической зависимости величин от дополнительной координаты. Предлагается вариант 5-мерной теории, где зависимость от 5-й координаты характеризует распределение материи в пространстве-времени.

В литературе обсуждались и некоторые другие геометрические способы описания массивной материи.

Отметим, что на этом пути встречается та же трудность с описанием спинорной материи, что и в геометродинамике Уилера. Вообще же, это направление исследований можно уподобить работам по поиску единой нелинейной теории на основе бозонных полей, рассмотренным в разд. 7.1, где еще возникают трудности в построении устойчивых образований, соответствующих материальным частицам.

11.5. Проблема квантования в геометрическом миропонимании

На пути построения экстремальной (монистической) геометрической теории встало чрезвычайно важная проблема описания квантовомеханических закономерностей. Известно, что А. Эйнштейн выражал надежду на ее решение в рамках геометрического миропонимания. Он писал: «Мои усилия пополнить общую теорию относительности путем обобще-

ния уравнений гравитации были предприняты отчасти в связи с предположением о том, что, по-видимому, разумная общая релятивистская теория поля, возможно, могла бы дать ключ к более совершенной квантовой теории. Это — скромная надежда, но никак не убеждение» [207, с. 626].

Геометрический взгляд на квантование пытались выработать в рамках 4-мерной теории, однако эту проблему следует понимать шире — учитывать, что общая теория относительности представляет собой лишь часть геометрического видения мира. А здесь вскрываются чрезвычайно важные обстоятельства: во-первых, квантовомеханические закономерности надежно наблюдаются лишь в процессах, где проявляются дополнительные (скрытые) размерности (т. с. в негравитационных взаимодействиях), во-вторых, в многомерии уже использовалась дополнительная размерность x^4 (в варианте 5-мерия Клейна — Фока) для описания масс покоя элементарных частиц.

В 40-х — 50-х гг. Ю. Б. Румер предложил использовать 5-мерную теорию для объяснения закономерностей квантовой механики. Его подход проистекал из 5-мерной теории варианта О. Клейна и В. А. Фока конца 20-х гг. Особое значение для его развития имела известная работа А. Эйнштейна и П. Бергмана [204], в которой обсуждался вопрос о возможной причине ненаблюдаемости 5-й координаты. В названной работе была высказана мысль, что пятое измерение замкнуто с некоторым элементарным периодом b (компактифицировано). Как уже отмечалось в гл. 10, эта идея была использована в многомерных геометрических моделях физических взаимодействий в варианте многомерия Калуцы. Замкнутость дополнительных измерений связывалась с квантованностью электрического и других зарядов.

Ю. Б. Румер же взглянул на идею А. Эйнштейна и П. Бергмана о циклической зависимости от дополнительной координаты под иным углом зрения. Он предложил связать цикличность с волновым характером квантовой механики: «Можно, однако, прийти к представлению о топологически замкнутом 5-мерном пространстве совершенно с «другого конца», независимо от попыток построения единой теории тяготения и электричества. Этот путь ведет к обнаружению возможности присвоить пятой координате S физический смысл действия, ее периоду b численную величину постоянной Планка \hbar и приводит к глубокому синтезу геометрических идей, заложенных в общей теории относительности, с идеями квантовой теории. Привычное в современной физике разделение на «макроскопику» и «микроскопику», связанное с величиной постоянной Планка \hbar , находит свое геометрическое отображение в понятиях „четырехмерия“ и „пятимерия“» [146, с. 8].

Эту идею он развил в виде так называемой 5-оптики. Характеризуя ее суть, он писал: «Было бы, однако, неверным рассматривать пятимерную оптику только как один из вариантов единой теории поля;

ее основное содержание заключается скорее в геометризации основных понятий квантовой физики, поскольку в ней квантование обнаруживается как проявление периодической зависимости всех физических полей от пятой координаты действия. Поскольку само «пятимерие» оказывается квантовым эффектом, становятся понятными неудачи всех предшествующих попыток построения пятимерных единых теорий поля на базе одних лишь классических представлений без существенного привлечения квантовых понятий» [146, с. 9].

Резюмируя результаты своих исследований по 5-оптике, Ю. Б. Румер, в частности, выделяет следующие положения:

- «1. Пятая координата конфигурационного пространства получает отчетливый физический смысл действия. В отношении пятой координаты конфигурационное 5-пространство топологически замкнуто.
2. Вместо условия цилиндричности для метрических потенциалов и условия цикличности для волновых функций все физические величины удовлетворяют единому условию периодичности в 5-й координате действия.
3. Обнаруживается, что период пятой координаты имеет универсальную величину постоянной Планка, которая получает отчетливый геометрический смысл.
4. Квантование движения материальной точки есть проявление периодической зависимости физических величин от координаты действия.
5. Во всякой последовательной классической теории мы обязаны полагать $\hbar \rightarrow 0$, т. е. пренебрегать периодической зависимостью физических величин от координаты действия. Во всякой последовательной квантовой теории мы обязаны учитывать периодическую зависимость физических величин от координаты действия. Поэтому, с точки зрения 5-оптики, является непоследовательным пренебрегать, как это делает современная квантовая механика, периодической зависимостью составляющих внешнего поля от координаты действия» [146, с. 150-151].

При развитии этой чрезвычайно интересной идеи Румер столкнулся с рядом трудностей, и данное исследование осталось незавершенным. С позиций сегодняшнего дня можно перечислить главные из возникших препятствий:

1. Несмотря на провозглашенную цель обоснования квантовой механики, Румер не удержался от включения в свою программу и задачи геометризации электромагнитного взаимодействия. Как сейчас ясно, для этой цели нужно было увеличить размерность еще на единицу, а Румер пытался остаться в рамках пяти измерений.

2. Электромагнитное поле Румер начал описывать, как и в варианте Калуцы, смешанными компонентами метрического тензора $G_{4\mu}$, однако в такой теории неоткуда было появиться электрическому заряду частиц и он ввел заряд в эти компоненты метрического тензора. В итоге нарушился принцип общей теории относительности и теории Калуцы, — пространство-время потеряло универсальный характер и превратилось в конфигурационное пространство, т. е. его свойства (метрика) стали зависеть от характеристик (зарядов) рассматриваемых частиц. Ю. Б. Румер пытался развить некую новую идеологию на базе этого свойства своей теории, но свести концы с концами ему так и не удалось.
3. Румер развивал свою теорию в рамках уже сформированного пространственно-временного многообразия и полагал, что для описания квантовой механики достаточно ограничиться устремлением в нуль константы b (постоянной Планка). Однако этого было явно недостаточно.

В связи с циклической зависимостью в 5-оптике Румера величин от координаты x^4 , имеющей смысл действия, хотелось бы обратить внимание на замечания Дж. Уилера о роли фазы — мнимого показателя в экспоненте — в построении геометрии мира. Он писал: «Существование в основных законах классического пространства-времени величины такого типа как относительная «фаза» двух отдельных точек приводит исследователей, ищащих чисто геометрическое описание природы к заключению, что понятие «фазы» еще не нашло своего наиболее удачного геометрического средства выражения. (...) Однако Природа умеет «вести учет» различия «фаз». Значит, если Природа сводится к геометрии, «фаза» также должна быть сводима к геометрии» [165, с. 61]. В другом месте он задавался вопросом: «Могут ли идеи римановой геометрии и геометродинамики быть переформулированы в таком виде, чтобы концепция относительной «фазы» двух удаленных точек приобрела простой смысл?» [165, с. 207].

Полагаем, что 5-оптика Румера фактически представляет собой незавершенную попытку реализовать замысел Уилера с помощью циклической зависимости величин от дополнительной координаты действия.

11.6. Супергравитация и гравитация в теории струн

Как и в случае теорий с условием суперсимметрии, следует различать первый этап описания гравитации в их рамках, представленный теорией супергравитации, и второй этап, основанный на теории суперструн.

11.6.1. Теория супергравитации

В теоретической физике последних двух десятилетий XX в. интенсивно исследовалась так называемая *теория супергравитации* (см., например, [51, 167]), опирающаяся на обобщенную категорию «искривленного» суперпространства. Эта теория возникла в середине 70-х гг. в работах П. ван Ньюенхайзена, С. Феррари, Д. Фридмана, а также С. Дезера и В. Зумино. Много сделали для развития данной программы В. И. Огиевецкий, М. Дафф, Р. Е. Каллош и другие авторы.

Можно сказать, что в этом направлении исследований были возрождены идеи Клиффорда и Уилера об описании искривленным пространством всех видов материи, по предлагалось это сделать с учетом принципа суперсимметрии между бозонными и фермионными полями. Фактически выдвигалась идея использовать многомерную теорию, однако с дополнительными не классическими, а грависмановыми координатами, т. е. во главу угла ставилось введение именно спинорных частиц.

Приведем высказывания некоторых ведущих теоретиков в этой области о сути и задачах данной программы.

A. Салам (1981 г.): «Построение расширенных теорий супергравитации ($N = 2, 3, \dots, 8$) породило надежду на то, что частицы со спином 1 и 2, посредники всех четырех фундаментальных взаимодействий (в том числе и гравитации), плюс хиггсовы частицы, а также материальные «источники» (частицы с полуцелыми спинами) удастся объединить в один супермультиплет расширенной теории супергравитации, объединив тем самым «мрамор» гравитации с «каркасом» материи — как мечтал Эйнштейн» [149, с. 16].

P. Э. Каллош (1985 г.): «Почему же теории суперсимметрии и супергравитации исследуются столь интенсивно уже второе десятилетие, хотя до сих пор нет экспериментальных подтверждений того, что эти теории правильно описывают природу? По-видимому, успехи единой теории слабых, электромагнитных и сильных взаимодействий возродили надежду построить единую теорию всех фундаментальных взаимодействий, включая гравитационные» [76, с. 6].

Суть суперсимметрий уже рассматривалась в гл. 7. Теория супергравитации возникает в результате слияния двух идей: 1) суперсимметрии и 2) калибровочного подхода к описанию гравитации.

Как и во всякой суперсимметричной теории, следует различать варианты теории супергравитации с различными N . При $N = 1$ имеем простую супергравитацию, в которой в единый мультиплет попадает поле спина 2 (гравитон) с одним майорановским спинором — частицей спина $3/2$, названной гравитино. Эта теория имеет лишь академический интерес и не может претендовать на реалистическую модель, объединяющую гравитацию с известной материей. Более богатые возможности

содержатся в расширенных теориях супергравитации с $N > 1$, где партнерами гравитона выступают N гравитино, $(1/2)N(N - 1)$ векторных полей, $(1/6)N(N - 1)(N - 2)$ полей спина 1/2 и ряд скалярных полей.

В суперсимметричных теориях гравитация учитывается уже тем фактом, что в ней не может быть более одного поля спина 2, соответствующего гравитационному взаимодействию. Отсюда следует, что N не может быть больше восьми. Максимально расширенная $N = 8$ теория супергравитации в одном супермультиплете объединяет одно поле спина 2, восемь полей со спином 3/2, 28 полей со спином 1, 56 полей со спином 1/2 и 70 скалярных полей (со спином 0). Этот вариант представляется наиболее перспективным для объединения всех известных бозонных и фермионных полей. Однако возникли трудности с отождествлением множества возможных полей с известными физическими полями. Были выдвинуты различные предположения о характере возникающих полей, в частности предлагалось их трактовать как некие преополя или пречастичи (проеопы), из которых предстоит в виде каких-то связанных комбинаций образовать известные нам лептоны, кварки и другие частицы.

В литературе конца XX в. было представлено еще одно направление исследования супергравитации, более соответствующее духу многомерных геометрических моделей типа теории Калуцы–Клейна. Это теория супергравитации в пространстве-времени $n > 4$ измерений, т. е. когда суперпространство содержит дополнительные и классические координаты (как в теориях Калуцы–Клейна), и фермионные координаты из соответствующей размерности n алгебры Грассмана. Такие теории получили название *теории супергравитации Калуцы–Клейна*.

В 1978 г. было установлено, что структура суперсимметричных алгебр вместе с ограничениями на спины получающихся полей устанавливает верхний предел для размерности n пространства-времени, в котором формулируется теория супергравитации. Оказалось, что размерность n не может превышать одиннадцати.

Особый интерес представляет простая супергравитация ($N = 1$) в одиннадцати измерениях. В числе основных доводов в пользу такого варианта супергравитации Калуцы–Клейна называют следующие. Во-первых, ссылаясь на Е. Виттена, утверждают, что одиннадцать – это минимальное число измерений, необходимое для введения калибровочной группы $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ в рамках общепринятого подхода к объединению взаимодействий. Во-вторых, это максимальное число измерений, совместимое с отмеченными выше условиями построения суперсимметричной теории.

11-мерная теория супергравитации исследовалась в работах Т. Креммера, Дж. Шерка и других авторов. Естественно, все дополнительные координаты выбирались пространственно-подобными. Такая тео-

рия оказывается довольно жесткой, если, конечно, потребовать, чтобы уравнения были второго порядка и чтобы она содержала только один свободный параметр — гравитационную постоянную. Все попытки как-либо модифицировать теорию окончились неудачей. Более того, в ней условиями суперсимметрии запрещено взаимодействие с внешней материяй (не входящей в супермультиплет полей, полученный калибровочным образом). Такие образом, эта теория не терпит половинчатости: либо это теория всего, либо она неверна.

Все максимальные теории супергравитации с меньшим числом измерений ($n < 11$) могут быть получены из теории супергравитации с $n = 11$ и $N = 1$ с помощью процедуры размерной редукции, т. е. методом понижения размерности до нужной, как это делается в обычной теории Калуцы—Клейна.

Несмотря на отсутствие непосредственных экспериментальных данных, побуждающих работу над этой программой, теоретики занимались исследованием этой проблемы с огромным энтузиазмом, будучи глубоко убежденными в том, что осуществляют давнюю мечту Эйнштейна об истинном объединении гравитации и материи.

Со временем оценки перспектив теории супергравитации стали более осторожными. Центр тяжести исследований переместился в область исследований n -бран, включающих в себя идеи супергравитации (суперструн), но заменяющие пространственно 1-мерные струны на 2-мерные мембранны или n -мерные n -браны.

11.6.2. Гравитация в теории суперструн

У автора имеются серьезные возражения метафизического характера ко всей программе теорий с условиями суперсимметрии, которые были изложены в гл. 7. Эти же возражения относятся и к теориям гравитации в рамках данного подхода. Тем не менее охарактеризуем ситуацию, сложившуюся в данной ныне достаточно молодой области исследований. Здесь опять будем опираться на высказывания как горячих сторонников этой программы, так и квалифицированных оппонентов, оставляя за читателем право принимать ту или иную сторону.

1. В книге Б. Грина «Элегантная Вселенная» можно найти такие слова: «Эдвард Виттен с гордостью объявил, что теория струн уже сделала впечатляющее и подтвержденное экспериментально предсказание: «Теория струн обладает замечательным свойством: она *предсказывает гравитацию*». Этим Виттен хотел сказать, что Ньютон и Эйнштейн разработали свои теории гравитации, так как наблюдения ясно показывали им, что гравитация существует и поэтому требует точного и непротиворечивого объяснения. Напротив, даже если бы физики, занимающиеся изучением теории струн, совершенно ничего не знали об общей теории

относительности, они неизбежно пришли бы к ней в рамках теории струн. Благодаря существованию моды колебаний, соответствующей безмассовому гравитону со спином 2, гравитация является неотъемлемым элементом этой теории. Как пишет Вигген: «Тот факт, что гравитация является следствием теории струн, является величайшим теоретическим достижением в истории». (...) Какая-нибудь другая высокоразвитая цивилизация во Вселенной, фантазирует Вигген, вполне могла бы сначала открыть теорию струн, а уже после, в качестве ошеломляющего следствия, — теорию гравитации» [51, с. 143].

Далее Б. Грин пишет: «И если в общей теории относительности постулируется, что свойства искривленного пространства Вселенной описываются геометрией Римана, то в теории струн утверждается, что данный постулат справедлив лишь в случае, когда структура Вселенной рассматривается на достаточно больших масштабах. На длинах порядка планковской должна вступать в игру новая геометрия, согласующаяся с новой физикой теории струн. Эту новую геометрию называют *квантовой геометрией*» [51, с. 155].

2. Грин утверждает, что на основе теории струн строится квантовая теория гравитации. Осторожный оптимизм по этому вопросу можно усмотреть в высказываниях С. Вайнберга: «Возможно, мы близки к переменам. За последнее десятилетие бурно развивался радикально новый подход к квантовой теории гравитации, а может быть, и ко всему остальному, — теория струн. Эта теория является первым приемлемым кандидатом на окончательную теорию» [18, с. 166].

П. Уэст пишет аналогично: «Можно надеяться, что на некотором масштабе энергий суперсимметричные теории должны обеспечить согласованное квантование гравитации и в то же время объединить тяготение со всеми другими силами природы. Наиболее обещающие кандидаты для достижения этого долгожданного результата — теории суперструн» [167, с. 14].

О подобных претензиях теории струн на решение столь важной проблемы пишет и Р. Пенроуз: «Теоретики, занимающиеся теорией струн, пытались представить струнную теорию квантовой гравитации как едва ли не единственную, чем стоит заниматься; примером может служить высказывание Джозефа Полчинского относительно подходов к квантовой гравитации, отличных от теории струн: «Здесь нет альтернативы... Все хорошие идеи — это часть теории струн». Я подозреваю, что именно убеждающий характер ранних заявлений относительно конечного характера теории послужил движущей силой теории. В самом деле, если бы провозглашенное открытие — «квантовая гравитация», устанавливающая связь между двумя великими революциями в физике XX в., — действительно подтвердилось, это сделало бы теорию струн ис-

только главным интеллектуальным достижением столетия, но и основой будущего прогресса фундаментальной физики» [127, с. 742].

3. Автор скептически относится к подобным утверждениям и согласен с позицией Р. Пенроуза: «Каким было мое отношение к этим заявлениям? Боюсь, что весьма отрицательным, как и у большинства моих близких коллег. Несомненно, что причина такого отношения в значительной мере была обусловлена различным культурным фоном у меня и моих коллег, чьи взгляды сформировались на основе глубокого интереса к общей теории относительности Эйнштейна, и у тех, кто пришел со стороны квантовой теории поля. Главным следствием этой разницы во взглядах было то, что мы совершенно по-разному понимали те центральные проблемы, которые необходимо решить для объединения квантовой теории с теорией гравитации. Пришедшие из квантовой теории поля видели главную цель в перенормируемости (или, точнее, *конечности*) теории. Мы же, пришедшие со стороны теории относительности, такой проблемой считали глубокий концептуальный конфликт между принципами квантовой механики и общей теории относительности, и именно в его разрешении мы видели путь к новой физике будущего. Наша негативная реакция на тогдашние громкие заявления сторонников теории струн возникала не из-за каких-то конкретных деталей или общего неверия (хотя было, конечно, и это), а из-за того, что сами проблемы, которые мы считали центральными во всей проблеме квантовой гравитации, казалось, вовсе не замечались теоретиками, занимающимися струнами! (...) Здесь, вероятно, играет важную роль терминология. Специалисты по струнам заявляют, что у них есть «квантовая теория гравитации», а не квантовая общая теория относительности или квантовый аналог теории Эйнштейна» [127, с. 742].

Аналогичная ситуация возникала в теоретической физике неоднократно всякий раз, когда имели дело с попытками решения фундаментальной проблемы, исходя из различных метафизических взглядов. Например, так было в нашей стране в дискуссиях по релятивистской теории гравитации Логунова и о ее соотношении с общей теорией относительности Эйнштейна. Некоторые тогда пытались дискутировать по отдельным деталям проблемы, тогда как в основе лежала метафизика, точнее, выбор между триалистической или геометрической дуалистической парадигмами. Сторонники общей теории относительности противостояли коллективу физиков, глядящих на теорию гравитации с позиций квантовой теории поля.

4. Пенроуз анализирует различие струнной «квантовой теории гравитации» и геометрической теории Эйнштейна и обращает внимание на ряд существенных нерешенных проблем в струнной теории. В частности, он пишет: «Мне трудно понять теорию, которая предполагает описывать гравитацию, предполагая наличие динамических степеней свободы

у геометрии пространства-времени» [127, с. 745]. Здесь также затронут вопрос метафизического характера. Имеется ряд вопросов выбора и обоснования наблюдаемой 1+3-мерности и т. д. Более глубокий анализ был бы уместен, если бы предполагалось реальное использование при дальнейшем изложении материала полученных на этом пути результатов.

5. Наконец, отметим, что имеется немало высказываний критического характера относительно возможности квантования гравитации на основе теории суперструн. Так, П. Уэст пишет: «Несмотря на то, что суперсимметрия ведет к нетривиальному обобщению теории гравитации Эйнштейна, вряд ли на этом пути будет решена упомянутая выше проблема квантования гравитации» [167, с. 9]. И далее Уэст замечает: «Но в этой связи следует напомнить, что гравитация может оказаться не фундаментальной силой, а быть обусловленной динамическим механизмом» [167, с. 14].

11.7. Недостатки программы всеобщей геометризации

В этой главе был продемонстрирован широкий спектр поисковых исследований XX в., не приведших к построению единой геометрической картины мира, несмотря на огромные затраченные усилия. Однако этот путь необходимо было пройти, чтобы убедиться в иллюзорности ряда надежд и привлекательных идей. Проведенные исследования продемонстрировали что эта проблема имеет более глубокий характер, чем это ожидалось. Одновременно в рамках этих исследований были вскрыты дополнительные принципы, необходимые для построения искомой единой теории мироздания.

Следует выделить две главные причины неудачи программы геометризации физики.

Во-первых, это использование исключительно классических геометрических средств (тензорных величин) для описания категории частиц, что быстро проявилось в трудностях введения спина элементарных частиц. Эта трудность сказалась и в попытках построения единой бозонной теории поля в теоретико-полевом подходе.

Программа построения теории супергравитации, где во главу угла ставится задача описание фермионных частиц, не привела к ожидаемым результатам, что, видимо, свидетельствует о недостаточно фундаментальном характере принципа суперсимметрии.

Во-вторых, иллюзорными оказались надежды Эйнштейна и других теоретиков на возможность геометрического обоснования квантовой теории. Об этом В. Гейзенберг писал: «Однако он (А. Эйн-

штейн. — Ю. В.) переоценил возможности геометрической точки зрения. Гранулярная структура материи является следствием квантовой теории, а не геометрии; квантовая же теория касается очень фундаментального свойства нашего описания Природы, которое не содержалось в эйнштейновской геометризации силовых полей» [44, с. 87].

К этому добавим то, что классический геометрический подход не позволяет обосновать ряд ключевых свойств классического пространства-времени, таких как размерность, сигнатура, квадратичный характер метрики и т. д. В этой парадигме эти свойства постулируются вместе с априорным характером самого пространства-времени. Внутри геометрической парадигмы подобные вопросы вряд ли возможно решить.

Названные и ряд других факторов заставили искать путь к единой теории на основе неких более абстрактных геометрических конструкций. Дж. Уилер для них предложил название предгеометрии. Так, физик-теоретик Х. Терезава писал: «Мне кажется, что во всяком случае предгеометрия является многообещающей теорией, новым направлением в физике (или в философии, но не метафизике), в которой некоторые основополагающие «священные» догмы теоретической физики, такие как 4-мерность пространства-времени, инвариантность при общих преобразованиях координат, микропричинность, принцип суперпозиции и т. п., не постулируются, а могут быть выведены и обоснованы» (цит. по [150, с. 193]). Однако упомянутые авторы пока не предложили достаточно приемлемого варианта предгеометрии.

Более того, рядом авторов была высказана мысль, что гравитационное взаимодействие, по образу и подобию которого пытались строить теорию иных взаимодействий, не является самостоятельным видом взаимодействий, а имеет индуцированную природу, обусловленную другими взаимодействиями.

К этой позиции следует более внимательно отнестись. Приведем ряд высказываний по этому вопросу. Так, С. Л. Адлер поставил вопрос: «... является ли эйнштейновская теория фундаментальной или она всего лишь некая эффективная теория поля, описывающая длинноволновый предел (т. е. область низких энергий) более общей теории, выглядящей совершенно иначе в малых масштабах? (...) В интересной статье, опубликованной в 1967 г. (до того, как была понята суть взаимодействия Ферми), Андрей Сахаров высказал предположение о том, что гравитационное взаимодействие не является фундаментальным, и указал способ получения действия Эйнштейна Гильберта в низкоэнергетическом пределе. Он исходил из того, что суть гравитации не в существовании кривизны пространства-времени, а в наличии большой „метрической упругости“, противодействующей сильному искривлению пространства-времени, за исключением мест, где сконцентрировано много вещества» (цит. по [150, с. 187]).

Сам А. Д. Сахаров писал: «По моей идее фундаментальный вид уравнений теории тяготения (т. е. общей теории относительности), а также численная величина гравитационной постоянной — должны следовать из теории элементарных частиц «сами собой», без каких-либо специальных гипотез. Зельдович встретил мою идею с восторгом и вскоре сам написал работу, ею инициированную. Я назвал свою теорию «теорией пулевого лагранжиана». Это название связано с тем, что теоретикам часто удобно иметь дело не с энергией и давлением, а со связанный с ними другой величиной — так называемой функцией Лагранжа; это разность кинетической и потенциальной энергий (на квантовом языке — с лагранжианом). В части своих работ я пользовался этим аппаратом. Для наглядного изображения своей идеи я придумал образный термин — «метрическая упругость вакуума». (...) Потом я узнал, что у меня были предшественники в этого рода идеях (у меня нет под рукой ссылок, — кажется один из них — Паркер), а также были авторы, которые независимо пришли к близким идеям (среди них — О. Клейн)... Дальнейшее развитие идеи «индукционной гравитации» получили в работах Хидецуми Теразава и, в последнее время, в работах Стивена Адлерса и Д. Амати и Г. Венициано. Я также не раз возвращался к ним» [150, с. 180–181].

Приведем высказывания других авторов. Названный А. Д. Сахаровым Х. Теразава писал: «В 1967 г. Сахаров выдвинул идею, явившуюся новым словом в теории гравитации. Следуя Уилеру, назовем этот подход «предгеометрией». В предгеометрии гравитация возникает в результате квантования полей материи, тогда как общая теория относительности Эйнштейна является эффективной теорией в длинноволновом пределе. (...) Истинное значение предгеометрии возможно даже глубже, чем первоначально представлял Сахаров. В каком-то смысле на важность такого рода концепции указывал еще Уилер в середине шестидесятых годов» [150, с. 191–193].

Видимо, Теразава имел в виду следующие высказывания Дж. Уилера: «Новая перспектива, открывающаяся перед предгеометрией, связана с новым подходом к оценке общей теории относительности. (...) В двух словах это означает, что гравитация для физики элементарных частиц — то же, что упругость — для атомной физики. Энергия упругой деформации есть не что иное, как энергия, запасенная в связях между атомами при деформации. Энергия, затрачиваемая на искривление пространства, есть не что иное, как возмущение вакуумной энергии полей и частиц, вызываемое этой кривизной» [109, с. 474].

Цитирование высказываний подобного рода можно было бы продолжить и далее. Их основная мысль в том, что гравитация имеет индуцированный, производный характер, а не является первичной сущностью, как это постулируется в общей теории относительности Эйнштейна.

Однако в позициях процитированных авторов имеются существенные различия в путях реализации данной идеи. Уилер и вслед за ним Теразава предлагают развивать предгеометрию. Как считает Теразава, этот подход приводит к составной модели, «в которой не только кварки и лептоны, но и также хиггсовские скаляры, калибровочные бозоны и даже гравитон состоят из более фундаментальных частиц — субкварков». У Сахарова и Адлера гравитация обусловлена флуктуациями вакуума элементарных частиц (фермионов). Имеются и другие предложения по реализации высказанной Сахаровым идеи.

В бинарной геометрофизике, рассматриваемой в пятой части, предлагается иной путь осмыслиения соотношения гравитации и квантовой теории, однако уже не в рамках рассмотренных теоретико-полевого и геометрического миропониманий, а на основе третьего, реляционного миропонимания. Следует сразу же подчеркнуть, что в последнем подходе гравитация также имеет индуцированный характер, однако это реализуется принципиально иным образом.

При построении бинарной геометрофизики самым существенным образом используются достижения теорий геометрического миропонимания. Главное из них состоит в том, что теория будущего должна опираться на идеи многомерия. Это подкрепляется также исследованиями в рамках теоретико-полевого миропонимания, где используются эквивалентные приемы в виде пространств внутренних симметрий или дополнительных грасмановых размерностей.

Часть IV

Реляционное миропонимание

Реляционное миропонимание опирается на концепцию дальнодействия и представляет собой третий взгляд на мир — со стороны оставшейся парной комбинации метафизических категорий: пространства-времени и частиц.

Как уже неоднократно отмечалось, в каждом из трех дуалистических миропониманий различаются две метафизические парадигмы. Первая основана на замене двух из трех исходных категорий на одну обобщенную (при сохранении неизменной третьей), а вторая основана на переходе к двум обобщенным категориям. В двух предыдущих дуалистических миропониманиях (теоретико-полевом и геометрическом) развитие теории происходило от первой из названных метафизических парадигм ко второй, более совершенной. В рамках реляционного миропонимания сразу стала строиться дуалистическая парадигма второго типа, представленная теориями прямого межчастичного взаимодействия Фоккера—Фейнмана.

В реляционном миропонимании осуществляется переход к двум обобщенным категориям: к пространственно-временным отношениям, которые заменяют первичные категории пространства-времени и частиц, и к категории токовых отношений, которая также опирается на две названные первичные категории и заменяют категорию полей переносчиков взаимодействий. Поскольку обе обобщенные категории фактически объединяют в себе классические категории пространства-времени и частиц, рассматриваемая в этой части дуалистическая реляционная парадигма может быть пояснена с помощью рис. IV.1. Сделаем необходимые пояснения. Левая заштрихованная грань куба соответствует пространственно-временным отношениям между частицами, тогда как правая заштрихованная грань — отношениям между частицами в пространстве скоростей (токов). При этом смещённость второй грани вправо означает определяющий характер этих отношений в описании взаимодействий, которые (в общепринятом подходе) осуществляются через поля.

Концепция дальнодействия имеет глубокие корни в истории физики и натурфилософии, однако в прошлом веке ей суждено было оставаться

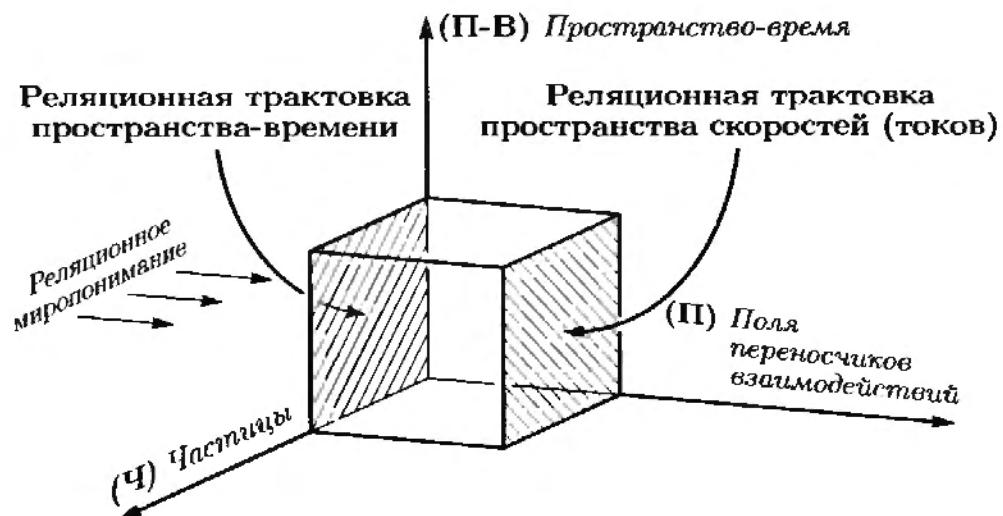


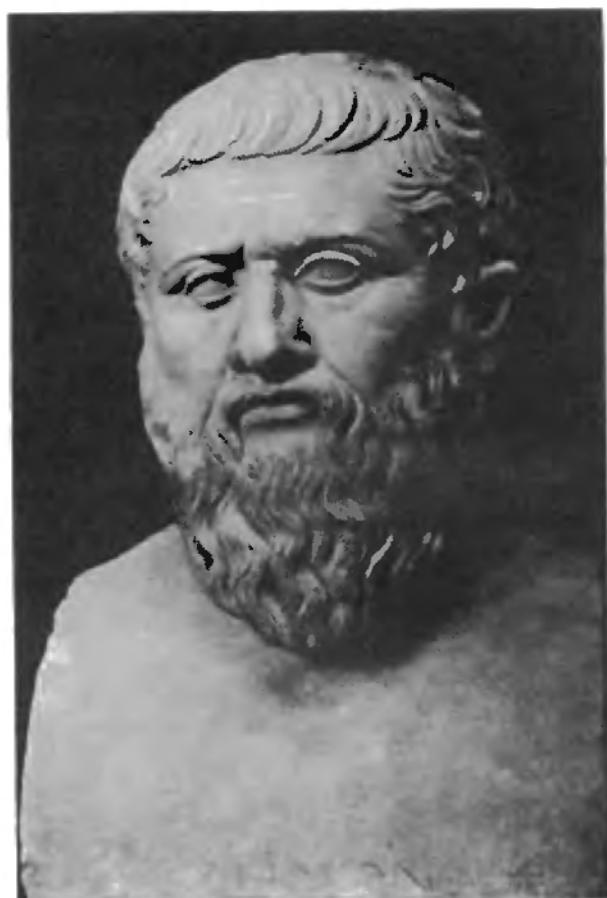
Рис. IV.1. Дуалистическое реляционное миропонимание

в стороне от магистральных направлений теоретической физики. Некоторые даже опрометчиво полагали, что успехи теории поля (концепции близкодействия) доказали несостоятельность концепции дальнодействия. Однако исследования в рамках концепции дальнодействия продолжались и в XX в., причем на этом пути были получены чрезвычайно интересные результаты принципиального характера.

Рассмотрение теоретических положений всех трех видений мира, включая недостаточно учитывавшееся до сих пор реляционное миропонимание, позволяет выявить основы новой теории, которая соответствует искомой монистической парадигме (см. ч. 5).



Пифагор (IV в. до н. э.)



Платон (427–347 г. до н. э.)



Демокрит (460–380 г. до н. э.)



Аристотель (384–322 г. до н. э.)



Р. Декарт (1596–1650)



И. Ньютона (1643–1727)



Х. Гюйгенс (1629–1696)



Г. В. Лейбниц (1646–1716)



К. Гаусс (1777–1855)



Б. Риман (1826–1866)



Н. И. Лобачевский (1792–1856)



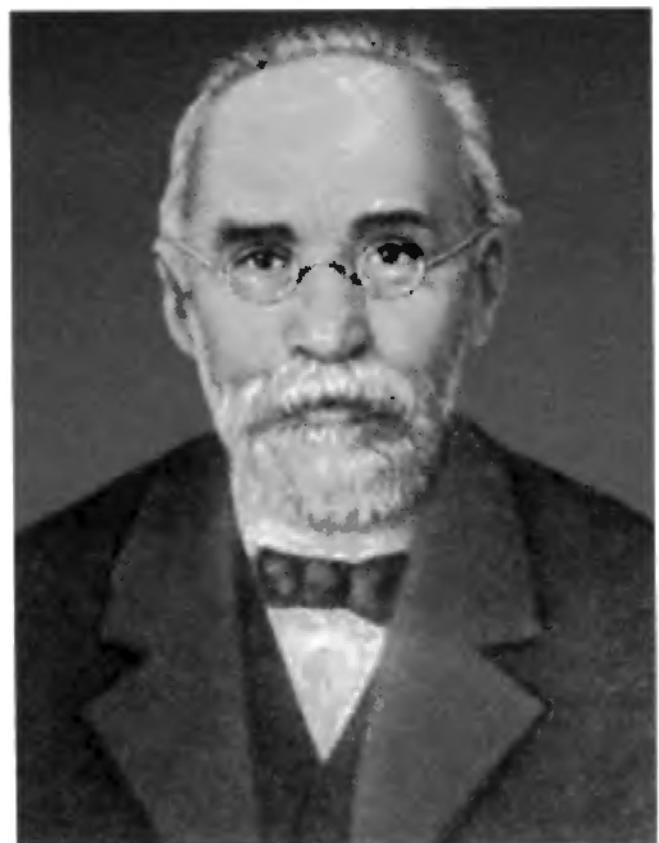
В. Клиффорд (1845–1879)



Дж. Максвелл (1831–1879)



А. Пуанкаре (1854–1912)



Х. Ф. Поренц (1853–1928)



Т. Калуца (1885–1954)

«Средствам мышления физики, понятиям массы, силы, атома (...) большинством естествоиспытателей приписывается реальность, выходящая за пределы мышления. Более того, полагают, что эти силы и массы и представляют то настоящее, что подлежит исследованию, и если бы они стали известны, все остальное получилось бы само собою из равновесия и движения этих масс. Если бы кто-либо знал мир только по театру и раз попал за кулисы, он мог бы подумать, что действительный мир нуждается в кулисах и что все было бы изучено, если бы были изучены эти кулисы. Вот так и мы не должны считать основами действительного мира те интеллектуальные вспомогательные средства, которыми мы пользуемся для постановки мира на сцене нашего мышления».

Э. Мах



Рис. 1. Э. Мах в своем рабочем кабинете.
(Из фотоархива автора.)

«Со времени завершения теории гравитации теперь прошло уже сорок лет. Они почти исключительно были посвящены усилиям вывести путем обобщения из теории гравитационного поля единую теорию поля, которая могла бы образовать основу для всей физики. (...) Но последние десять лет привели, наконец, к теории, которая кажется мне естественной и обнадеживающей. Я не в состоянии сказать, могу ли я считать эту теорию физически полноценной; это объясняется пока еще непреодолимыми математическими трудностями; впрочем, такие же трудности представляет применение любой нелинейной теории поля. Кроме того, вообще кажется сомнительным, может ли такая теория объяснить атомистическую структуру вещества и излучения, а также квантовые явления. Большинство физиков, несомненно, ответят убежденным «нет», ибо они считают, что квантовая проблема должна решаться принципиально иным путем».

А. Эйнштейн

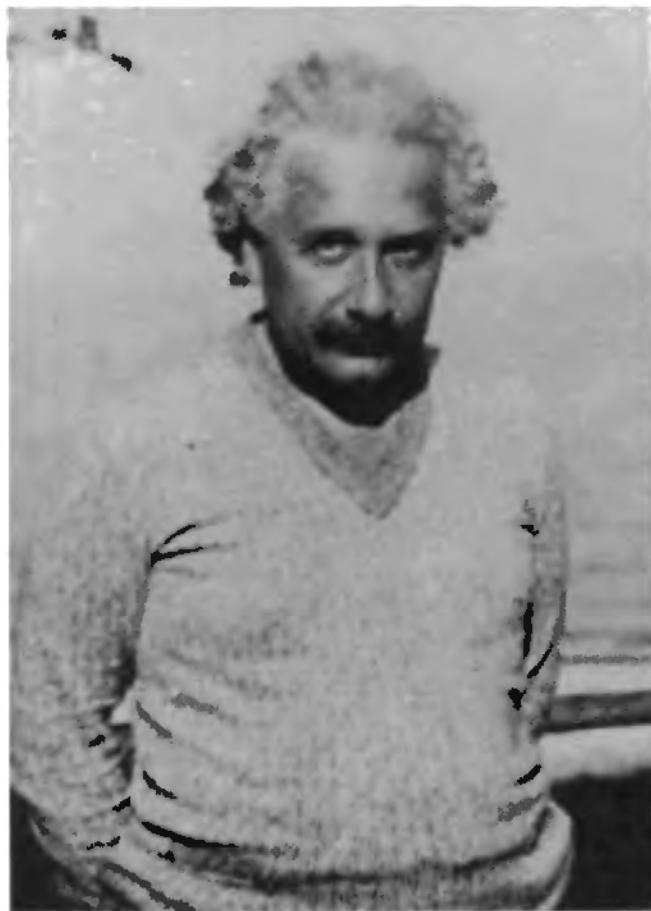


Рис. 2. А. Эйнштейн (1928 г.).
(Из архива автора.)

«В общефилософском аспекте знаменательно здесь то, что в отношении анализа и синтеза в других областях знания мы встречаемся с ситуациями, напоминающими ситуацию в квантовой физике. Так, цельность живых организмов и характеристики людей, обладающих сознанием, а также и человеческих культур представляют черты целостности, отображение которых требует типично дополнительного способа описания. Передача опытных фактов в этих обширных областях требует богатого словаря. (...) Но постепенное развитие терминологии, пригодной для описания более простой ситуации в области физики, показывает, что мы имеем здесь дело не с более или менее туманными аналогиями, а с отчетливыми примерами логических связей, которые в разных контекстах встречаются в более широких областях знания».

Н. Бор



Рис. 3. Н. Бор на кафедре теоретической физики физического факультета МГУ.
(Из архива автора.)

«*Contraria non contradictoria sad complimenta sunt. Nils Bohr. May, 8, 1961.*» («Противоположности не противоречат, а дополняют друг друга. Н. Бор. Май, 8, 1961»), — слова, написанные Нильсом Бором на стене кафедры.

«Не следует слишком удивляться, если попытки описания природы приведут нас в конце концов к логике, этому «воздушному замку» в самом центре математики. Если, как считают, вся математика сводится к математической логике, а вся физика — к математике, то разве не единственной возможностью является то, что физика сводится к математической логике?»

Ч. Мизнер, К. Торн, Дж. Уилер



Рис. 4. Дж. Уилер пишет на стене кафедры теоретической физики МГУ: «No theory of particles which deals only with particles will ever explain particles — A student of N. Bohr. 15 June 1971. J. Wheeler.» («Не может быть теории, объясняющей элементарные частицы, которая имеет дело лишь с частицами. Студент Н. Бора. 15 июня 1971. Дж. Уилер.») (Фото автора.) При этом он имел в виду необходимость учета всего окружающего мира.

«We will first understand
How simple the universe is
When we recognize
How strange it is.»

J. Wheeler.
Jena, 7-VII, 1986.

(«И лишь познав,
Как странен мир,
Поймем мы,
Что он прост.»

Дж. Уилер.
Иена, 7-VII, 1986.)

Стихотворный автограф, оставленный Дж. Уилером
на экземпляре сборника, посвященного 100-летию А. Эйнштейна.

«Соотношение неопределенности в его современной форме не будет фигурировать в физике завтрашнего дня. Разумеется, возврата к детерминизму классической физики уже не будет; эволюция не пойдет вспять. Наверняка появятся совершенно необычные представления, о которых мы пока даже не догадываемся. Они уведут нас еще дальше от классических взглядов и полностью изменят современный вид соотношений неопределенности».

П. А. М. Дирак



Рис. 5. «В основе мира лежат два начала: спинор и тетрада», — слова Д. Д. Иваненко из беседы с П. А. М. Дираком во время 3-й Международной гравитационной конференции в Варшаве (25–31 июля 1962 г.). (Фото автора.)

«Physical law should have mathematical beauty. P. A. M. Dirac. 3 Oct. 1956.» («Физический закон должен иметь математическое изящество. П. А. М. Дирак. 3 окт. 1956.»), — слова, написанные П. А. М. Дираком на стене кафедры теоретической физики физического факультета во время посещения МГУ.

«Когда окончательно откажутся от понятия элементарной частицы, встанет вопрос, какие понятия можно было бы связать с эпитетом «фундаментальный». Конечно, не какие-то особые виды частиц, или сил, или полей, или геометрий. Фундамент реальности, к сожалению, гораздо более абстрактен. Существующие экспериментальные доказательства довольно основательно свидетельствуют в пользу идеи, что можно говорить о фундаментальных симметриях. Закон природы, лежащий в основе спектра частиц, их взаимодействий, строения и истории космоса, определяется, вероятно, некоторыми фундаментальными симметриями. (...) Поэтому можно сказать, что современное развитие физики повернулось от философии Демокрита к философии Платона».

В. Гейзенберг

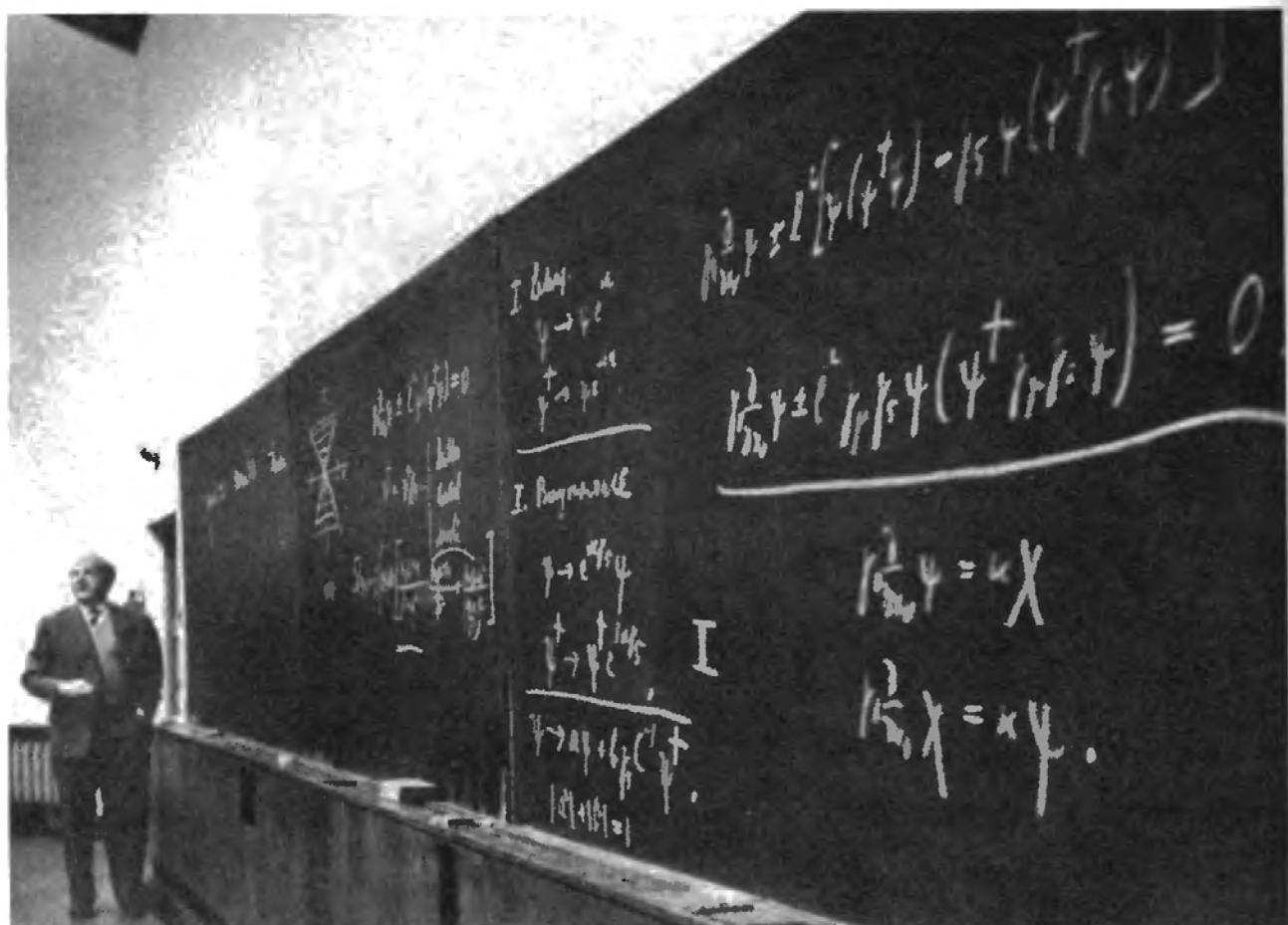


Рис. 6. В. Гейзенберг на одном из международных конгрессов (Лейпциг, 60-е годы).
(Из фотоархива автора.)

«Мне всегда казалось странным, что самые фундаментальные законы физики после того, как они уже открыты, все-таки допускают такое невероятное многообразие формулировок, по первому впечатлению незквивалентных, но все же таких, что после определенных математических манипуляций между ними всегда удается найти взаимосвязь. (...) Я не знаю, что должно означать это желание природы выбирать такие любопытные формы, но, может быть, в этом и состоит определение простоты. Может быть, вещь приста только тогда, когда ее можно исчерпывающим образом охарактеризовать несколькими различными способами, еще не зная, что на самом деле ты говоришь об одном и том же».

Р. Фейнман



Рис. 7. Р. Фейнман на 3-й Международной гравитационной конференции в Варшаве, где он выступал с докладом «Квантовая теория гравитационного поля» (30 июля 1962 г.). (Фото автора.)

«Подход к электромагнетизму на основе концепции прямого межчастичного взаимодействия позволяет описать все классические явления с заряженными частицами, по крайней мере, так же хорошо, как это делается в максвелловской теории поля, и это интересным образом связано с космологией. Выбор запаздывающих потенциалов осуществляется не волевым образом, а диктуется вселенной. (...) Квантовая теория прямого межчастичного взаимодействия эквивалентна квантовой теории максвелловского поля».

Ф. Хайл, Дж. Нарликар



Рис. 8. Ф. Хайл на семинаре профессора Д. Д. Иваненко в МГУ (1964 г.). (Фото автора.)

«Мы должны отказаться от описания атомных явлений как явлений в пространстве и времени, мы должны еще дальше отступить от старого механистического воззрения».

Л. Инфельд, А. Эйнштейн

«Неравенства Гейзенberга указывают пределы применимости классического способа описания. Но они отнюдь не ставят каких-либо границ для более совершенных способов описания физических явлений и для более полного познания свойств физических объектов».

В. А. Фок

«Сколько людей занимаются общей теорией относительности, столько имеется ее пониманий».

Дж. Синг

«Можно ввести понятие евклидова пространства, исходя из предела вероятности взаимодействия большой сети частиц, квазистатически обменивающихся спинами».

Р. Пенроуз



Рис. 9. Л. Инфельд, В. А. Фок, Дж. Синг, Дж. Андерсон, (?), Р. Пенроуз, Б. Гоффман на 3-й Международной гравитационной конференции (Варшава, 25–31 июля 1962 г.). (Фото автора.)

«Я думаю, однако, что мы должны считать фундаментальной реальностью не поле, но материю, т. е. движение и взаимодействие материальных частиц, а электромагнитное поле рассматривать как вспомогательную конструкцию, служащую для более удобного описания этого взаимодействия. Наконец, я полагаю, что оно представляет собой дальнодействие, которое мы никоим образом не должны сводить к какому-то действию и близкодействию, осуществляющемуся через какую-либо промежуточную материальную среду или при помощи материализованных силовых линий».

Я. И. Френкель

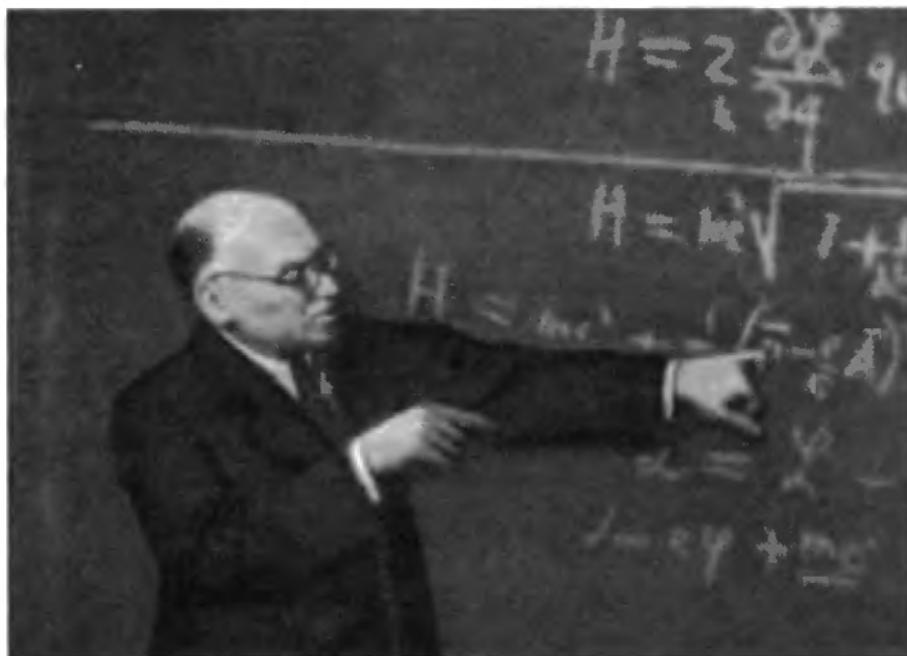


Рис. 10. Я. И. Френкель на лекции в Политехническом институте. Ленинград, 1949 г. (Фото из книги «Я. И. Френкель. Воспоминания, письма, документы». Л.: Наука, 1986.)

«Понятие относительности к средствам наблюдения есть в известном смысле обобщение понятия относительности к системе отсчета. Оба эти понятия играют в соответствующих теориях аналогичную роль».

«Понятие физической системы отсчета (лаборатории) не равносильно, в общем случае, понятию системы координат».

В. А. Фок

«Вся современная физика явно или неявно пользуется метрической геометрией. (...) Можно предположить, что будущая физическая теория будет аметрической или полиметрической, поскольку она будет допускать множество различных метрик, и тогда на будущем этапе развития физики на смену идеи относительности явится идея соотносительности».

А. Л. Зельманов

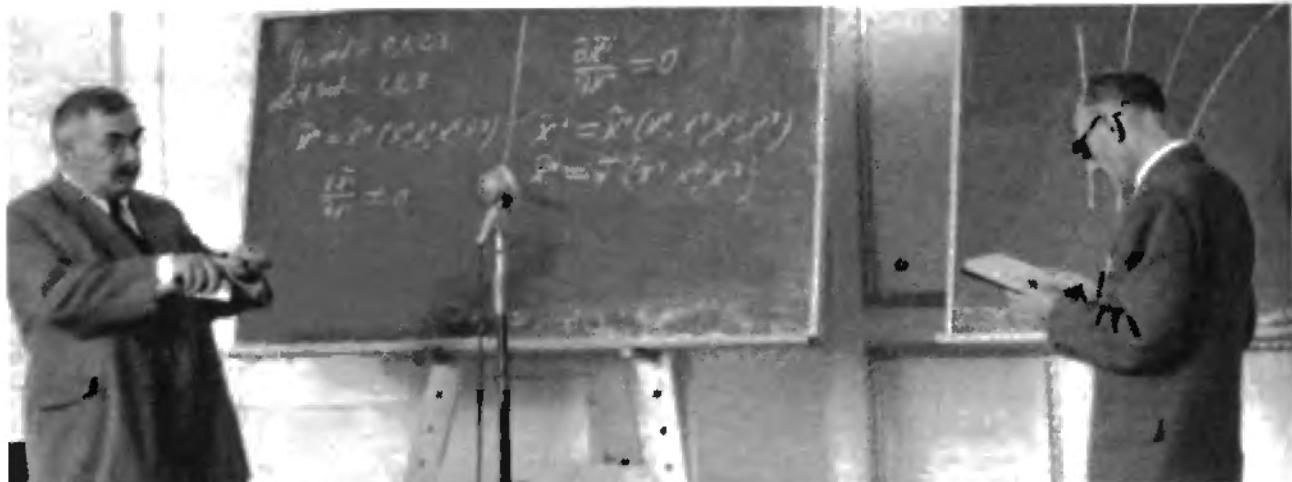


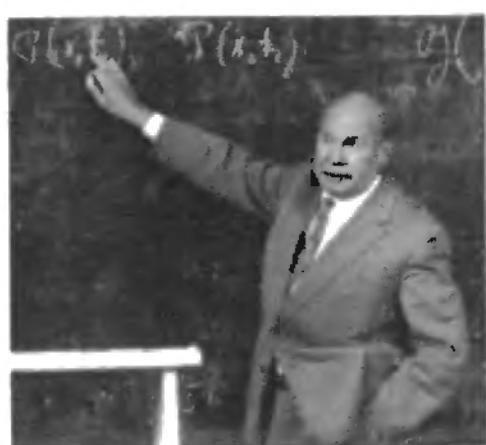
Рис. 11. В. А. Фок комментирует доклад А. Л. Зельманова, посвященный описанию систем отсчета методом хронометрических инвариантов, на 3-й Международной гравитационной конференции (Варшава, 25–31 июля 1962 г.). (Фото автора.)

«Квантовая механика изучает микромир в его отношении к макромиру. Макроскопические (классические) приборы являются теми системами отсчета, по отношению к которым в квантовой теории определяется состояние микросистем».

«Если в 30-х годах всех заботило влияние прибора на состояние частицы, то теперь пора возвратиться к более традиционной постановке вопроса — о влиянии микрообъекта на состояние макросистемы. Это не только теория измерений, но и теория порождения макроявлений микроявлениями».

Д. И. Блохинцев

Рис. 12. Д. И. Блохинцев на Всесоюзной летней гравитационной школе в Тарту, где он выступал с докладом «О причинности в современной теории поля» (27 июня 1963 г.). (Фото автора.)



«Мы видим, что современная физика дает возможность совершенно по-новому трактовать понятие «состоит из». Вселенная в целом может оказаться микроскопической частицей. Микроскопическая частица может содержать в себе целую Вселенную».

М. А. Марков

«Выходит, элементарная частица — не что иное, как своеобразная «яма», где покоятся кварки, что, в свою очередь, означает предел делимости материи».

А. А. Логунов

«Единство естественнонаучной картины мира недостижимо в рамках уже известных теорий».

В. А. Амбарцумян, В. В. Казютинский



Рис. 13. М. А. Марков, В. А. Амбарцумян, А. А. Логунов, Н. Н. Боголюбов, Я. Б. Зельдович, Х. Христов, В. Б. Брагинский на открытии 5-й Советской гравитационной конференции (Москва, МГУ, 1 июля 1981 г.). (Фото автора.)

«По моей идеи функциональный вид уравнений теории тяготения (т. е. общей теории относительности), а также численная величина гравитационной постоянной — должны следовать из теории элементарных частиц «сами собой», без каких-либо специальных гипотез».

А. Д. Сахаров



Рис. 14. А. Д. Сахаров на 5-й Международной гравитационной конференции в Тбилиси, где он выступил с докладом «Квантовая природа метрической упругости пространства и элементарная длина» (11 сентября 1968 г.). (Фото автора.)

«В рамках теории физических структур по-новому осмысливается проблема единства мира, — у современных ученых еще силен искус решения этой проблемы в субстанциалистическом духе. Однако не исчерпал ли себя этот подход? С точки зрения теории физических структур более перспективно искать не исходную «первоматерию», а исходные «первоструктуры», — такая переформулировка проблемы единства мира представляется нам несравненно более преимущественной и в логическом, и в естественно-научном отношении». И. Е. Тамм



Рис. 15. И. Е. Тамм. 1963 г.
(Фото из книги «Я.И. Френкель. Воспоминания, письма, документы». Л.: Наука. 1986.)

«Между тем трудно сомневаться в том, что макроскопические понятия, в том числе и наши пространственно-временные представления, на самом деле уходят своими корнями в микромир. Когда-нибудь они должны быть раскрыты как некоторый статистический итог, вытекающий из закономерностей этого мира — далеко еще не разгаданных — при суммарном наблюдении огромного числа микроявлений».

П. К. Рашевский



Рис. 16. П. К. Рашевский (1907–1985)
(Из архива мехмата МГУ.)

Глава 12

Реляционная концепция пространства-времени



Изложение реляционного миропонимания, как и в случаях триалистической или геометрической парадигм, открывается интерпретацией пространства и времени в этом подходе. Теперь это обобщенная категория пространственно-временных отношений, которая объединяет категории пространства-времени и частиц. В этом ее главное, принципиальное отличие как от безликого плоского пространственно-временного фона (в триалистической или теоретико-полевой парадигмах), так и от фона, вбирающего в себя поля и прогибающегося под внесенной в него материей (в геометрической парадигме). В реляционном подходе нет априорно заданного фона, а есть лишь отношения между событиями, происходящими с материальными объектами (частицами).

В основе реляционной концепции пространства-времени лежат принципы специальной теории относительности. И это не случайно: становление теории относительности происходило в русле именно реляционного подхода. Даже создавая общую теорию относительности, Эйнштейн, вслед за Махом, мыслил в духе этого же реляционного подхода, чему имеется множество письменных свидетельств.

Для окончательного формирования категории пространственно-временных отношений и для построения физической теории в рамках реляционного миропонимания оказался подходящим математический аппарат теории физических структур (систем отношений) Ю. И. Кулакова [90, 91, 92], до сих пор мало известный физикам.

12.1. Истоки реляционной концепции пространства-времени

Раскрытие сути физического пространства-времени относится к числу кардинальных вопросов фундаментальной физики и всего естествознания в целом. Возникнув в трудах античных мыслителей, эта проблема уже в не столь отдаленное время занимала центральное место

в мировоззрении Э. Маха. В книге «Познание и заблуждение» он писал: «Кто хочет получить представление о том, с каким трудом развилась абстракция «пространство», лучше всего сделает, обратившись к изучению четвертой книги Физики Аристотеля. Вопрос о том, *существует* пространство (место) или *не существует*, как оно существует и что оно такое, причиняют ему много затруднений. Он не может смотреть на пространство как на тело, ибо тогда одно тело находилось бы в другом. Но, с другой стороны, он и не может отделить пространство от мира тел, ибо место тела есть для него то, что это тело окружает, обнимает. Аристотель выдвигает мысль, что мы не спрашивали бы о пространстве, если бы не существовало никакого движения. Связь представления пространства с представлением тела естественно приводит к идеи *немыслимости пустоты*, — идее, запицаемой Аристотелем и многими другими мыслителями древности. Мыслители, допускавшие пустоту, как Левкип, Демокрит, Эпикур и др., имели, следовательно, представление о пространстве, более близкое к нашему. Пространство было для них чем-то в роде сосуда, который может и не быть наполнен. И к такому представлению действительно должна была вести геометрия, которая устранила все телесные свойства, кроме определенных границ» [105, с. 417].

Далее Мах отмечает: «Можно, пожалуй, сказать, что главным образом именно со времени Ньютона время и пространство стали теми *самостоятельными* и однако *бестелесными* сущностями, которыми они считаются по настоящее время... Для Ньютона время и пространство представляют нечто *сверхфизическое*; они суть *первичные*, независимые *переменные*, непосредственно недоступные, по крайней мере, точно не определимые, направляющие и регулирующие все в мире. Как пространство определяет движение отдаленнейших планет вокруг Солнца, так время делает *согласными* отдаленейшие небесные движения с незначительнейшими процессами здесь на земле. При таком взгляде мир становится *организмом*, или — если предпочитают это выражение — *машиной*, все части которой согласно применяются к движению *одной* части, руководствуясь до известной степени *одной* единой волей, и нам остается только неизвестной *цель* этого движения. Этот взгляд лежит, как наследие Ньютона, в основе и современной физики, хотя, может быть, чувствуется некоторое нежелание открыто это признать» [105, с. 421]. Сделанное замечание не утратило своей актуальности и в наши дни.

Взгляды на суть пространства и времени, высказывавшиеся, с одной стороны, Аристотелем, Г. Лейбницем, Э. Махом, и, с другой стороны, Демокритом, И. Ньютоном и большинством современных физиков, отражают два подхода в его понимании: **реляционный и субстанциальный**. Последний достаточно хорошо известен, поскольку его придержи-

вается подавляющее большинство естествоиспытателей. Реляционный же подход, которому посвящена эта глава, нуждается в пояснении.

Напомним высказывания видных сторонников реляционного подхода. Так, Г. Лейбниц в письмах к С. Кларку (а фактически к И. Ньютону) писал: «Я неоднократно подчеркивал, что считаю *пространство*, так же как и *время*, чисто относительным: пространство — *порядком существования*, а время *порядком последовательностей*... Для опровержения мнения тех, которые считают пространство субстанцией или, по крайней мере, какой-то абсолютной сущностью, у меня имеется несколько доказательств» [97, с. 441].

Позиция Лейбница разделялась Э. Махом, считавшим категории абсолютного пространства и времени «бессмыслицами». Лейбниц и Мах полагали, что в отсутствие тел не существует ни пространство, ни время. Но что предлагалось взамен идеи абсолютного пространства-времени? Ответ можно разглядеть в высказываниях Э. Маха: «Время и пространство существуют в определенных отношениях физических объектов, и эти отношения не только вносятся нами, а существуют в связи и во взаимной зависимости явлений» [105, с. 372]. «Мы можем сказать, что во временной зависимости выражаются простейшие непосредственные физические отношения» [105, с. 417]. «В пространственных отношениях находит свое выражение посредственная физическая зависимость» [105, с. 417].

Отношение — вот то ключевое понятие, которое и у Лейбница, и у Маха заменяет идею абсолютного пространства и времени. Данное понятие послужило в качестве исходного основания при обозначении реляционного (англ. *relation*, лат. *relativus* — относительный) подхода. Попутно заметим, что термины «реляционный» и «релятивистский» имеют различное значение. Кроме того, не следует понимать «отношение» в алгебраическом смысле как результат деления одной величины на другую. Утвердившийся термин ближе по своему значению к общепринятому пониманию отношений между людьми, являясь как бы числовой характеристикой плохих (отрицательных) или хороших (положительных) отношений.

Отношение в геометрии — это не что иное, как *метрика (расстояния)*. Однако в современном изложении геометрии, как правило, исходят из координатной системы в многообразии той или иной размерности, а затем через разности координат двух точек задаются расстояния (метрика). Но возможен и другой ход рассуждений: можно начинать с расстояний, — парных отношений между точками, — а затем уже из них получать координаты и все другие понятия. Упоминание о таком подходе к геометрии мы находим уже у Э. Маха, который писал: «Интересную попытку обосновать евклидову и неевклидову геометрию на одном понятии расстояния мы находим у Ж. Де Тилли (1880 г.)» [105,

с. 380]. Элементы реляционного подхода к геометрии прослеживаются также в работах Ф. Клейна (1849–1925). Значительно позднее в этом же духе была написана книга К. М. Блюменталя «Теория и применение геометрии расстояний» (1953) [8].

В специальной и общей теориях относительности ключевым понятием также является отношение, только теперь рассматриваются отношения между парами *событий* и они называются *интервалами* s_{ik} между событиями i и k .

12.2. Переформулировка геометрии через расстояния

1. С некоторыми фрагментами переформулировки геометрии в терминах расстояний встречается каждый школьник. Известно определение площади треугольника через половину произведения основания на высоту. Но можно определить его площадь исключительно через расстояния (отношения) между его вершинами. Пусть его вершины обозначаются буквами i, j, k , а расстояния между ними (длины сторон) есть l_{ik}, l_{ij}, l_{kj} . Тогда квадрат площади треугольника S_{ijk}^2 находится по формуле Герона

$$S_{ijk}^2 = \frac{1}{16} (l_{ik} + l_{ij} + l_{kj})(l_{ik} + l_{ij} - l_{kj})(l_{ik} - l_{ij} + l_{kj})(-l_{ik} + l_{ij} + l_{kj}). \quad (12.2.1)$$

Полученное выражение можно переписать с помощью *определителя Кэли–Менгера* для трех точек (вершин треугольника),

$$16S_{ijk}^2 = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & l_{ik}^2 & l_{ij}^2 \\ 1 & l_{ki}^2 & 0 & l_{kj}^2 \\ 1 & l_{ji}^2 & l_{jk}^2 & 0 \end{vmatrix}. \quad (12.2.2)$$

2. Аналогичным образом через определитель Кэли–Менгера на четырех точках находится квадрат 3-мерного объема

$$288V_{ikjn}^2 = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & l_{ik}^2 & l_{ij}^2 & l_{in}^2 \\ 1 & l_{ki}^2 & 0 & l_{kj}^2 & l_{kn}^2 \\ 1 & l_{ji}^2 & l_{jk}^2 & 0 & l_{jn}^2 \\ 1 & l_{ni}^2 & l_{nk}^2 & l_{nj}^2 & 0 \end{vmatrix}. \quad (12.2.3)$$

Очевидно, что обращение в нуль определителя (12.2.3) означает, что четыре рассматриваемые точки лежат в одной плоскости.

3. Выписанные формулы для площадей и 3-мерных объемов можно обобщить на объемы большей размерности в многомерных евклидовых

пространствах. В частности, в 3-мерном евклидовом пространстве определитель Кэли—Менгера для квадратов расстояний между 5 произвольными точками: i, k, m, n, p , тождественно обращается в нуль:

$$\begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & l_{ik}^2 & l_{im}^2 & l_{in}^2 & l_{ip}^2 \\ 1 & l_{ki}^2 & 0 & l_{km}^2 & l_{kn}^2 & l_{kp}^2 \\ 1 & l_{mi}^2 & l_{mk}^2 & 0 & l_{mn}^2 & l_{mp}^2 \\ 1 & l_{ni}^2 & l_{nk}^2 & l_{nm}^2 & 0 & l_{np}^2 \\ 1 & l_{pi}^2 & l_{pk}^2 & l_{pm}^2 & l_{pn}^2 & 0 \end{vmatrix} \equiv 0, \quad (12.2.4)$$

что означает равенство нулю 4-мерного объема симплекса, образованного этими точками.

4. Через расстояния между точками можно выразить привычные *пространственные координаты* геометрических точек. Для этого сначала нужно определить три *эталонные точки* a, b и c , задающие используемую систему координат. Положим, что точка a лежит в начале координат, положение оси x^1 определим вдоль вектора \vec{ab} , а ось x^2 зададим так, чтобы точка c лежала в плоскости $(x^1 x^2)$. Тогда задача нахождения пространственных координат произвольной точки i' в 3-мерном пространстве по ее расстояниям до эталонных точек не представляет труда для школьников старших классов.

Чтобы записать ответ в наиболее компактном виде, введем *обобщенный определитель Кэли—Менгера*, который записывается для двух подмножеств элементов i, k, m, \dots и a, b, c, \dots , содержащих одинаковые количества элементов, которые могут совпадать, как при записи обычного определителя Кэли—Менгера, а могут и различаться. В самом общем случае такие определители имеют вид

$$D_{ikmn\dots;abc\dots} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & \dots \\ 1 & a_{in} & a_{ib} & a_{ic} & \dots \\ 1 & a_{ka} & a_{kb} & a_{kc} & \dots \\ 1 & a_{ma} & a_{mb} & a_{mc} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{vmatrix}. \quad (12.2.5)$$

Опуская все промежуточные выкладки, выпишем координаты точки i' через обобщенные определители Кэли—Менгера:

$$x_i^1 = \frac{D_{ai';ab}}{\sqrt{-2D_a D_{ab}}}; \quad x_i^2 = -\frac{D_{abi';abc}}{\sqrt{-2D_{ab} D_{abc}}}; \quad x_i^3 = \frac{D_{abci';abcd}}{\sqrt{-2D_{abc} D_{abcd}}}, \quad (12.2.6)$$

где в первой формуле использовано обозначение определителя

$$D_a \equiv \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{vmatrix} = -1$$

для придания симметрии всей совокупности формул.

5. Легко убедиться, что соотношение (12.2.4) тождественно выполняется, если парные отнoшения l_{ik}^2 (расстояния) выразить через найденные описанным образом декартовы координаты

$$l_{ik}^2 = (x_i^1 - x_k^1)^2 + (x_i^2 - x_k^2)^2 + (x_i^3 - x_k^3)^2. \quad (12.2.7)$$

Это знакомое выражение квадрата длины через квадраты разностей координат.

Отметим, что соотношение (12.2.4) будет выполняться также в псевдоевклидовой геометрии с метрикой вида:

$$\tilde{l}_{ik}^2 = (x_i^1 - x_k^1)^2 + (x_i^2 - x_k^2)^2 - (x_i^3 - x_k^3)^2. \quad (12.2.8)$$

6. Приведем еще формулу для квадрата 3-мерного объема (12.2.3) через декартовы координаты 4 точек:

$$D_{ikjn} = 288V_{ikjn}^2 = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & l_{ik}^2 & l_{ij}^2 & l_{in}^2 \\ 1 & l_{ki}^2 & 0 & l_{kj}^2 & l_{kn}^2 \\ 1 & l_{ji}^2 & l_{jk}^2 & 0 & l_{jn}^2 \\ 1 & l_{ni}^2 & l_{nk}^2 & l_{nj}^2 & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ x_i^1 & x_k^1 & x_j^1 & x_n^1 \\ x_i^2 & x_k^2 & x_j^2 & x_n^2 \\ x_i^3 & x_k^3 & x_j^3 & x_n^3 \end{vmatrix}^2, \quad (12.2.9)$$

где $x_i^s, x_k^s, x_j^s, x_n^s$ — координаты четырех выбранных точек ($s = 1, 2, 3$).

7. Через обобщенные определители Кэли—Менгера записывается ряд других геометрических выражений, например, углы между двумя лучами, исходящими из одной точки, значения двугранных и телесных углов и т. д. Таким образом, всю евклидову (и псевдоевклидову) геометрию можно переписать через расстояния.

8. Изменяя набор эталонных точек a, b, c в 3-мерном пространстве, получим новые значения декартовых координат точки i , а также значения координат другой произвольной точки k . При этом, однако, квадрат расстояния $l_{ik}^2 = a_{ik}$ не изменится. Все возможные изменения эталонных элементов в рамках выделенного пространственного сечения генерируют группу координатных преобразований в 3-мерном пространстве, оставляющую инвариантной квадратичную форму $l_{ik}^2 = Const.$

12.3. Теория пространственно-временных отношений

1. В специальной и общей теориях относительности в качестве отношений вместо расстояний выступают **интервалы** s_{ik} между парами событий i и k . Как известно, квадрат интервала, являясь характеристикой единой категории пространственно-временных отношений, определяется разностью квадратов промежутков времени и расстояний между парами

событий. Отдельно понятия расстояния и времени имеют условный характер, выделяемый из первичного понятия интервала. С другой стороны, в понятии интервала между событиями неявно подразумевается категория частии, с которыми произошли рассматриваемые события. Без материальных объектов (частии) становятся бессмысленными понятия интервалов и вообще пространственно-временные отношения.

2. В реляционном подходе вместо априорно заданного пространства-времени триалистической или теоретико-полевой парадигм выступает совокупность отношений между парами событий которую можно представить в виде гигантской мировой матрицы

$$M_{world} = \left(\begin{array}{c|ccccccccccccc} & a & b & c & \cdots & i & j & k & l & m & \cdots \\ \hline a & a_{aa} & a_{ab} & a_{ac} & \cdots & a_{ai} & a_{aj} & a_{ak} & a_{al} & a_{am} & \cdots \\ b & a_{ba} & a_{bb} & a_{bc} & \cdots & a_{bi} & a_{bj} & a_{bk} & a_{bl} & a_{bm} & \cdots \\ c & a_{ca} & a_{cb} & a_{cc} & \cdots & a_{ci} & a_{cj} & a_{ck} & a_{cl} & a_{cm} & \cdots \\ \cdots & \cdots \\ i & a_{ia} & a_{ib} & a_{ic} & \cdots & a_{ii} & a_{ij} & a_{ik} & a_{il} & a_{im} & \cdots \\ j & a_{ja} & a_{jb} & a_{jc} & \cdots & a_{ji} & a_{jj} & a_{jk} & a_{jl} & a_{jm} & \cdots \\ k & a_{ka} & a_{kb} & a_{kc} & \cdots & a_{ki} & a_{kj} & a_{kk} & a_{kl} & a_{km} & \cdots \\ l & a_{la} & a_{lb} & a_{lc} & \cdots & a_{li} & a_{lj} & a_{lk} & a_{ll} & a_{lm} & \cdots \\ m & a_{ma} & a_{mb} & a_{mc} & \cdots & a_{mi} & a_{mj} & a_{mk} & a_{ml} & a_{mm} & \cdots \\ \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots \end{array} \right) \quad (12.3.1)$$

В ней по горизонтали и вертикали обозначены события, а элементами матрицы являются квадраты интервалов. Работать с такой матрицей чрезвычайно трудно.

3. Счастливым обстоятельством мирового устройства явилось то, что для элементов мира — событий — имеют место симметрии, позволяющие иметь дело не со всей гигантской матрицей, а со свойствами отношений между неким конечным числом элементов (событий), причем эти свойства оказываются справедливыми и для всех других аналогичных наборов элементов.

Ключевое свойство отношений между событиями нетрудно разглядеть в уже изложенной выше реляционной формулировке евклидовой геометрии. Здесь имеется в виду свойство набора расстояний между 5 точками (12.2.4), означающее принадлежность их 3-мерному (плоскому) пространству. Для 4-мерных пространственно-временных отношений соотношение (12.2.4) обобщается на случай уже 6 точек-событий. Выберем произвольные точки-события i, k, a, b, c, d , тогда квадраты ин-

тервалов между ними удовлетворяют условию

$$\Phi_{(6)} \equiv D_{ikabcd} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & s_{ik}^2 & s_{ia}^2 & s_{ib}^2 & s_{ic}^2 & s_{id}^2 \\ 1 & s_{ki}^2 & 0 & s_{ka}^2 & s_{kb}^2 & s_{kc}^2 & s_{kd}^2 \\ 1 & s_{ai}^2 & s_{ak}^2 & 0 & s_{ab}^2 & s_{ac}^2 & s_{ad}^2 \\ 1 & s_{bi}^2 & s_{bk}^2 & s_{ba}^2 & 0 & s_{bc}^2 & s_{bd}^2 \\ 1 & s_{ci}^2 & s_{ck}^2 & s_{ca}^2 & s_{cb}^2 & 0 & s_{cd}^2 \\ 1 & s_{di}^2 & s_{dk}^2 & s_{da}^2 & s_{db}^2 & s_{dc}^2 & 0 \end{vmatrix} = 0, \quad (12.3.2)$$

означающему, что 5-мерный объем образованного ими симплекса равен нулю.

Назовем это соотношение **законом классических пространственно-временных отношений** и будем его рассматривать в качестве первого ключевого постулата, характеризующего реляционный подход к физике. Он определяет свойства категории пространственно-временных отношений, обозначенной на рис. IV.1 в виде левой заштрихованной грани куба.

4. На основе закона (12.3.2), т. е. из элементов и миноров определителя Кэли—Менгера строится вся теория пространственно-временных отношений. Назовем ключевые понятия.

Рангом закона (12.3.2) назовем число точек-событий $r = 6$, для которых он записан. Очевидно, что ранг связан с общепринятым геометрическим понятием размерности n соотношением

$$n = r - 2 \rightarrow 4 = 6 - 2. \quad (12.3.3)$$

Фундаментальной симметрией пространственно-временных отношений назовем свойство любых 6 точек-событий удовлетворять закону (12.3.2). В реляционном подходе фундаментальная симметрия заменяет общепринятые симметрии пространства-времени Минковского, описываемые 10-параметрической группой Пуанкаре.

Базис пространственно-временных отношений задается 4 эталонными точками-событиями, относительно которых можно определить координаты всех точек-событий, входящих в мировую матрицу (12.3.1). Для избранного базиса из четырех элементов парные отношения полагаются раз навсегда заданными. Базис системы отношений соответствует понятию тела отсчета в теории относительности.

Четверку координат точек-событий можно понимать как функцию парных отношений этого события относительно 4 точек-событий базиса. В этом легко убедиться, рассматривая закон (12.3.2) как уравнение для парного отношения s_{ik}^2 , полагая остальные 4 элемента a, b, c, d эталонными. Тогда выделенное парное отношение будет являться

функцией 4 парных отношений элемента i относительно 4 базисных элементов, 4 парных отношений элемента k относительно базиса и раз навсегда заданных парных отношений между базисными элементами. Таким образом, понятия координат не вводятся, а определяются из закона системы отношений. Как и в случае 3-мерного евклидова пространства, их можно выразить через миноры определителя Кэли - Менгера в законе (12.3.2).

5. Легко убедиться, что парные отношения в законе (12.3.2) можно представить через параметры (декартовы координаты) точек-событий следующим образом

$$s_{ik}^2 = (x_i^0 - x_k^0)^2 - \sum_{l=1}^3 (x_i^l - x_k^l)^2 \equiv \tau_{ik}^2 - l_{ik}^2. \quad (12.3.4)$$

Очевидно, закон (12.3.2) выполняется тождественно при подстановке в него (12.3.4).

Отметим, что закон (12.3.2) не позволяет однозначно фиксировать сигнатуру 4-мерного многообразия. Допускаются сигнатуры: $(+++)$, $(+--)$, $(++--)$ и эквивалентные сигнатуры с заменой знаков плюс на минусы и наоборот. Следовательно, необходимы дополнительные аксиомы, выделяющие сигнатуру $(---)$. Эти аксиомы соответствуют уже упоминавшемуся блоку аксиом частичной упорядоченности, которые часто задают раньше метрических аксиом. Последние согласовываются с упорядоченностью событий. Времени-подобные события имеют $s^2 > 0$, а пространственно-подобные характеризуются $s^2 < 0$. Точки-события с равным нулю интервалом принадлежат изотропному конусу данного базиса.

6. С помощью миноров определителя Кэли-Менгера из (12.3.2) и разделения точек-событий на пространственно- и времени-подобные можно выделить **3-мерные пространственно-подобные сечения** и тем самым определить **системы отсчета** наблюдателей. Так, например, если с наблюдателем произошло событие a , то, чтобы задать пространственное сечение, содержащее a , достаточно выбрать еще три (эталонные) пространственно-подобные к a точки-события: b, c, d , для которых $D_{abcd} \neq 0$, а четыре события a, b, c, d можно объявить одновременными. Задавасмому сечению принадлежат все пространственно-подобные к выделенным четырем точкам-события p , для которых $D_{abcdp} = 0$ (см. (12.2.4)). Таким образом выделяется 3-мерная евклидова геометрия, реляционная формулировка которой рассмотрена в предыдущем разделе.

7. Переходы между системами отсчета, выражаемые в стандартной теории относительности преобразованиями Лоренца, в реляционном подходе соответствуют **переходам от одного базиса к другому**, т. е. к иному набору эталонных элементов.

8. Можно было бы продолжить изложение теории пространственно-временных отношений в сугубо реляционном подходе. Однако ограничимся выводом, который имеет принципиально важное значение для дальнейшего изложения: *все геометрические понятия пространственно-временных отношений могут быть выражены через миноры из определителя Кэли–Менгера в законе (12.3.2). И обратно, все миноры закона могут быть наделены некоторым геометрическим смыслом.*

12.4. Временные отношения

1. Рассмотрим временные отношения, т. е. отношения между событиями, происходящими (с точки зрения наблюдателя) в одном и том же месте. Таковыми являются события на одной мировой линии наблюдателя. Совокупность таких точек-событий можно определить, используя соответствующие миноры из определителя Кэли–Менгера в (12.3.2). Для этого, прежде всего, нужно задать две точки-события a и b , заведомо лежащие на мировой линии наблюдателя. Для них $s_{ab} > 0$. Все времениподобные к a и b точки-события i , удовлетворяющие условию равенства нулю определителя Кэли–Менгера на трех точках

$$D_{iab} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & s_{ia}^2 & s_{ib}^2 \\ 1 & s_{ai}^2 & 0 & s_{ab}^2 \\ 1 & s_{bi}^2 & s_{ba}^2 & 0 \end{vmatrix} = 0, \quad (12.4.1)$$

принадлежат мировой линии наблюдателя. Это легко осмыслить, опираясь на формулу Герона (12.2.2), согласно которой площадь треугольника на этих трех точках равна нулю, т. е. они лежат на одной прямой.

2. Перепишем выражение (12.4.1) через формулу Герона (12.2.1) при равной нулю площади треугольника. Очевидно, что равенство нулю имеет место при обращении в нуль одной из скобок вида $s_{ab} + s_{bi} - s_{ia} \equiv p - 2s_{ia}$, где p — периметр треугольника. Каждую из таких скобок можно представить в ином виде. Для этого перейдем от симметричных длин к направленным отрезкам, принимающим положительное значение, если порядок индексов соответствует их направленности, и имеющим отрицательные значения, если индексы стоят в обратном порядке. Так, при направлении от a к i имеем $s_{ai} \equiv \tau_{ai} > 0$. Направленные интервалы времени обладают свойством антисимметрии

$$\tau_{ai} = -\tau_{ia}. \quad (12.4.2)$$

Пусть условие (12.4.1) означает, что три точки-события a , b и i лежат на одной прямой, причем в указанном порядке, тогда, заменяя длины

отрезков на направленные интервалы времени τ_{ai} , соответствующую скобку в формуле Герона можно записать в виде:

$$p - 2\tau_{ai} = \tau_{ab} + \tau_{bi} + \tau_{ia} = 0. \quad (12.4.3)$$

Заметим, что две другие скобки $(p - 2\tau_{ik})$ и $(p - 2\tau_{ai})$ могли бы соответствовать выполнению условия (12.4.1) при другой упорядоченности точек-событий на мировой линии наблюдателя.

3. Условие (12.4.1) для ориентированной прямой, т. е. для антисимметричных парных отношений τ_{ai} , может быть переписано в виде

$$\begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & \tau_{ab} & \tau_{ai} \\ -1 & \tau_{ba} & 0 & \tau_{bi} \\ -1 & \tau_{ia} & \tau_{ib} & 0 \end{vmatrix} = (\tau_{ab} + \tau_{bi} + \tau_{ia})^2 = 0. \quad (12.4.4)$$

Очевидно, это условие сложения промежутков времени на мировой линии наблюдателя

$$\tau_{ab} + \tau_{bi} = \tau_{ai}. \quad (12.4.5)$$

Выражение (12.4.4) можно рассматривать как *закон для событий на мировой линии наблюдателя*.

4. Рассмотрим смысл миноров в условии (12.4.4). Легко убедиться, что все миноры определителя из (12.4.4) на единицу меньшего порядка обращаются в нуль в силу свойства антисимметрии парного отношения. Из миноров второго порядка нетривиальным смыслом обладают два типа:

$$\begin{vmatrix} 0 & \tau_{ab} \\ \tau_{ba} & 0 \end{vmatrix} = \tau_{ab}^2 = s_{ab}^2; \quad \begin{vmatrix} 0 & \tau_{ai} \\ \tau_{ba} & \tau_{bi} \end{vmatrix} = \tau_{ab}\tau_{ai}. \quad (12.4.6)$$

Первый из них связывает симметричное парное отношение с антисимметричным, а второй лежит в основе хроногеометрии.

12.5. Хроногеометрия

Для реляционного подхода к природе пространства-времени характерен специфический способ задания систем отсчета — посредством хроногеометрии. Он основан не на задании континуума наблюдателей, заполняющих все пространство, а на определении так называемого *одиночного наблюдателя*, характеризуемого событиями на одной мировой линии (или на двух и более близких линиях). Чтобы наблюдатель мог получать информацию о событиях вне его мировой линии, его нужно снабдить соответствующей аппаратурой и методикой анализа.

В хроногеометрии используется методика,ложенная в основу радиолокации, т. е. способ получения информации об окружающей обстановке методом посылки электромагнитных сигналов и приема отраженных сигналов. В математическом плане эта методика опирается на сигнатуру $(+--)$ пространственно-временных отношений. Она позволяет сопоставить событие M вне мировой линии наблюдателя с парой событий на мировой линии наблюдателя: с событием (моментом) излучения сигнала и событием (моментом) его приема. Пусть событие a на мировой

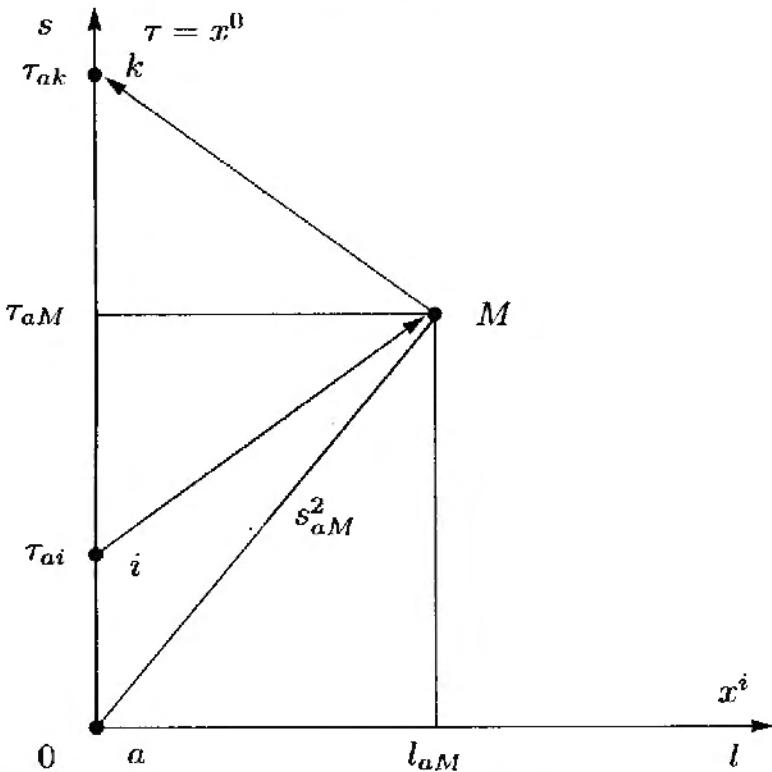


Рис. 12.1. Задание двух координат события M методом хроногеометрии

линии наблюдателя означает начало отсчета его собственного времени, событие i — соответствует излучению сигнала, а событие k — приему отраженного сигнала (см. рис. 12.1), тогда второй из миноров в (12.4.6) (при заменах $b \rightarrow i$, $i \rightarrow k$) приобретает смысл квадрата интервала между точкой начала отсчета времени a наблюдателя и событием M , в котором произошло отражение сигнала:

$$\tau_{ai}\tau_{ak} = s_{aM}^2 = \tau_{aM}^2 - l_{aM}^2, \quad (12.5.1)$$

где разность временных координат двух событий a и M определена через полусумму антисимметричных парных отношений на мировой линии наблюдателя (интервалов времени)

$$\tau_{aM} \equiv \frac{1}{2} (\tau_{ai} + \tau_{ak}), \quad (12.5.2)$$

а *расстояние* (пространственный интервал) l_{aM} между этими событиями — через полуразность тех же отношений:

$$l_{aM} = \frac{1}{2} (\tau_{ak} - \tau_{ai}). \quad (12.5.3)$$

Данные рассуждения справедливы и в том случае, когда одно или оба события i и k предшествуют событию a . В случае, например, когда событие i предшествует событию a , число τ_{ai} становится отрицательным, и, согласно определению (12.4.2), события a и M становятся пространственно-подобными ($s_{aM}^2 < 0$).

Изложенная принципиальная схема введения двух координат событий вне мировой линии наблюдателя (макроприбора) многократно обсуждалась в работах физиков [7], геометров и даже в трудах по философии естествознания. В частности, эта схема положена в основу специальной формулировки общей теории относительности как хроногеометрии [2, 151], когда измерение координат и других понятий теории относительности осуществляется лишь с помощью показаний часов наблюдателя (или ряда наблюдателей). Так, известный физик-гравитационист Дж. Синг писал: «Для нас единственной основной мерой является время. Длина (или расстояние), поскольку возникает необходимость или желательность их введения, будет рассматриваться как строго производное понятие. (...) Фактически мы имеем дело с римановой хроногеометрией, а не геометрией, слово геометрия, внушающее опасение, что нам, чего доброго, придется возиться с измерением длин с помощью метровой линейки, можно было бы в этой связи полностью исключить из употребления, если бы грубое буквальное значение понятия геометрии не приобрело глубокой связи с абстрактными математическими определениями «пространства», «метрик» и т. д.» [151, с. 101].

При изложении теории 4-мерного пространства-времени на основе модели хроногеометрии приходится вводить дополнительные понятия или усложнять описанную методику¹⁾.

¹⁾ Один из способов преодоления этой трудности состоит в использовании нескольких наблюдателей. Оказывается, угловые координаты события M можно определить, если его измерять как минимум тремя наблюдателями. При этом, конечно, полагается, что наблюдатели обмениваются между собой сигналами, определяя таким образом взаимные расстояния. Такой способ интересен тем, что не опирается на качественно иные методы получения информации и пригоден не только в плоском, но и в искривленном пространстве-времени общей теории относительности.

12.6. Теория унарных физических структур

В рамках иных идеологических предпосылок Ю. И. Кулаковым [90, 92], Г. Г. Михайличенко (см. [90]) и В. Х. Львом [96] разрабатывалась исследовались возможные виды законов для парных отношений между r элементами произвольной природы, исходя из свойств фундаментальной симметрии между элементами.

Задача ставилась следующим образом. Постулировалось существование неких законов в виде равенства нулю некоторой алгебраической функции $\Phi_{(r)}$ от $r(r - 1)/2$ вещественных парных отношений типа a_{ik} :

$$\Phi_{(r)}(a_{ik}, a_{ij}, \dots, a_{jk}, \dots) = 0. \quad (12.6.1)$$

Условие равноправности (фундаментальной симметрии) всех элементов, а также предположение о непрерывности множества элементов позволяли записать систему функционально-дифференциальных уравнений, из решений которых находились возможные виды законов $\Phi_{(r)} = 0$ и выражения для парных отношений a_{ik} . Особое внимание уделялось выявлению всех возможных решений и доказательству отсутствия каких-либо иных их видов. Полученная таким образом совокупность результатов составила математическую часть так называемой теории (унарных) физических структур (на одном множестве элементов).

Теорию физических структур (систем отношений) на одном множестве элементов можно проиллюстрировать с помощью рис. 12.2, где в множестве M равноправных элементов выделено r элементов, обведенных рамкой, для которых ищется закон. Этот набор может быть заменен на любой другой набор из r элементов.

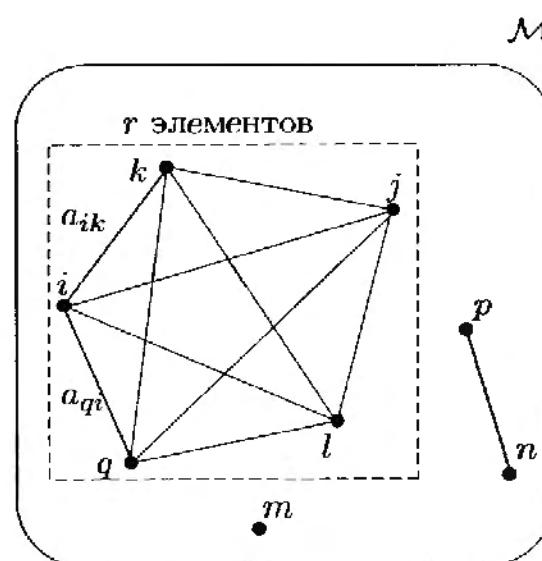


Рис. 12.2. Унарная теория отношений (теория структур на одном множестве элементов)

В работах Г. Г. Михайличенко¹⁾ и В. Х. Льва были найдены все возможные законы (при вещественных парных отношениях) для систем отношений (физических структур на одном множестве элементов) рангов $r = 3, 4, 5$. С увеличением ранга существенно возрастает трудность нахождения законов. Для каждого ранга r имеется несколько решений, которые, как оказалось, соответствуют известным геометриям: Евклида, Лобачевского, Римана (пространство постоянной положительной кривизны) и некоторым другим.

Для унарных систем отношений (геометрий в реляционной форме) по-прежнему выполняется соотношение $n = r - 2$, где r – ранг закона, а n – размерность геометрии. В силе остается и сформулированное выше понятие элементарного базиса (набора эталонных элементов), а также свойство выражаемости координат (параметров) элементов через их отношения к базисным элементам.

В развивающей здесь реляционной концепции геометрии и физики учтены результаты названных исследований. Но, когда решения функционально-дифференциальных уравнений получены, можно отбросить условия непрерывности и использовать найденные законы для более общих множеств элементов, в том числе и для их дискретных наборов. В предыдущих разделах этой главы записывались законы в виде равенства нулю определителей Кэли–Менгера на 6, 5 и 3 точках (элементах), соответствующие одному из видов законов, найденных из решений функционально-дифференциальных уравнений в теории (унарных) физических структур.

Не останавливаясь на довольно громоздкой методике решения систем функционально-дифференциальных уравнений, отметим, что сложность и громоздкость решений быстро возрастает с ростом ранга r . В самом общем виде поставленную задачу удалось решить для рангов $r = 3, 4, 5$. Для ранга $r = 5$ имеется 10 и только 10 различных решений, которые соответствуют 10 видам известных (унарных) геометрий. Для рангов 4 и 3 их меньше.

Выпишем без доказательств найденные виды законов УСВО для названных рангов, разбив их на 4 класса, и будем исходить из законов ранга (5).

1. Класс так называемых *вырожденных структур* (унарных систем вещественных отношений (УСВО)), ранг $r = 5$ которых будем обозначать символом $(5; a)$, характеризуется законом в виде равенства нулю окаймленного определителя (Кэли–Менгера) из симметричных парных отношений между 5 элементами (точками), т. е. в виде (12.2.4). Этот

¹⁾ Многочисленные результаты исследований Г. Г. Михайличенко в области теории структур изложены в его монографиях, предназначенных для специалистов (см. например, [114, 115]).

закон тождественно выполняется для двух видов парных отношений, выписанных в (12.2.7) и (12.2.8), т. е. для двух сигнатур.

Очевидно, что закон (12.3.2) относится именно к этому классу вырожденных УСВО ранга (6;а), а условия (12.2.4), выделяющие 3-мерные пространственные сечения, в терминологии теории физических структур являются законом УСВО ранга (5;а).

2. Второй класс УСВО, ранг которых обозначается символом (г;б), описывается антисимметричными парными отношениями $a_{ik} = -a_{ki}$. Для него имеется существенное отличие четных и нечетных рангов.

А. Закон УСВО нечетного ранга (5;б) записывается в виде равенства нулю антисимметричного окаймленного определителя на 5 элементах:

$$\Phi_{(5,b)}(a_{ik}, a_{im}, \dots) = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & a_{ik} & a_{im} & a_{in} & a_{ip} \\ -1 & a_{ki} & 0 & a_{km} & a_{kn} & a_{kp} \\ -1 & a_{mi} & a_{mk} & 0 & a_{mn} & a_{mp} \\ -1 & a_{ni} & a_{nk} & a_{nm} & 0 & a_{np} \\ -1 & a_{pi} & a_{pk} & a_{pm} & a_{pn} & 0 \end{vmatrix} = 0. \quad (12.6.2)$$

Этот закон удовлетворяется для парного отношения

$${}^5a_{ik}^{(3)} = -a_{ki}^{(7)} = x_i^1 x_k^2 - x_k^1 x_i^2 + x_i^3 - x_k^3, \quad (12.6.3)$$

соответствующего метрике своеобразной 3-мерной симплектической геометрии (геометрии на 3-мерной гиперплоскости, вложенной в 4-мерное симплектическое пространство).

Для УСВО ранга (3;б) закон принимает вид, выписанный в (12.4.4) как условие выделения точек-событий на ориентированной мировой линии наблюдателя.

Б. Закон УСВО четного ранга (4;б) этого класса записывается через неокаймленный определитель

$$\Phi_{(4,b)} = \begin{vmatrix} 0 & a_{ik} & a_{im} & a_{in} \\ -a_{ik} & 0 & a_{km} & a_{kn} \\ -a_{im} & -a_{km} & 0 & a_{mn} \\ -a_{in} & -a_{kn} & -a_{mn} & 0 \end{vmatrix} = 0. \quad (12.6.4)$$

Эта УСВО соответствует 2-мерной симплектической геометрии с метрикой (парным отношением):

$${}^4a_{ik}^{(3)} = -a_{ki} = x_i y_k - x_k y_i = \begin{vmatrix} x_i & y_i \\ x_k & y_k \end{vmatrix}. \quad (12.6.5)$$

3. Третий класс так называемых *невырожденных УСВО* (структур) будем характеризовать рангом (г) без дополнительных букв. Закон УСВО ранга (5) (геометрии) этого класса записывается в виде равенства нулю неокаймленного определителя из симметричных парных отношений $a_{ik} = a_{ki}$ между 5 элементами (точками):

$$\Phi_{(5)}(a_{ik}, a_{im}, \dots) = \begin{vmatrix} 1 & a_{ik} & a_{im} & a_{in} & a_{ip} \\ a_{ki} & 1 & a_{km} & a_{kn} & a_{kp} \\ a_{mi} & a_{mk} & 1 & a_{mn} & a_{mp} \\ a_{ni} & a_{nk} & a_{nm} & 1 & a_{np} \\ a_{pi} & a_{pk} & a_{pm} & a_{pn} & 1 \end{vmatrix} = 0. \quad (12.6.6)$$

Показано, что этот закон тождественно выполняется для четырех видов парных отношений, отличающихся сигнатурой. Здесь, прежде всего, следует назвать риманову геометрию (постоянной положительной кривизны), характеризуемую парными отношениями между точками на 3-мерной гиперсфере:

$${}^5a_{ik}^{(4)} = x_i^1 x_k^1 + x_i^2 x_k^2 + x_i^3 x_k^3 + \\ + \sqrt{[1 - (x_i^1)^2 - (x_i^2)^2 - (x_i^3)^2] [1 - (x_k^1)^2 - (x_k^2)^2 - (x_k^3)^2]}, \quad (12.6.7)$$

где x^1, x^2, x^3 по три параметра (координаты), характеризующие элементы (точки).

Данным законом описывается также геометрия Лобачевского (гиперболическая геометрия постоянной отрицательной кривизны), характеризуемая парными отношениями между точками на 3-мерном гиперболоиде:

$${}^5a_{ik}^{(5)} = -x_i^1 x_k^1 - x_i^2 x_k^2 - x_i^3 x_k^3 + \\ + \sqrt{[1 + (x_i^1)^2 + (x_i^2)^2 + (x_i^3)^2] [1 + (x_k^1)^2 + (x_k^2)^2 + (x_k^3)^2]}. \quad (12.6.8)$$

Кроме того, имеются еще два решения, соответствующие геометриям на 3-мерных гиперсферах, вложенных в 4-мерные псевдоевклидовы пространства.

4. Четвертый класс составляют так называемые экзотические УСВО ранга (г;в), характеризующиеся законами, которые не представимы в явном виде. Для УСВО ранга (5;в) этого класса были найдены парные отношения в трех видах. Они соответствуют некоторым 3-мерным «экзотическим» геометриям. Сначала полагалось, что эти парные отношения определяют новые, ранее неизвестные (унарные) геометрии, однако впоследствии были обнаружены забытые труды геометров с уже описанными геометриями. Поскольку экзотические системы отношений

в бинарной геометрофизике не используются, соответствующие им метрики здесь не приводятся.

В итоге были найдены десять УСВО (3-мерных геометрий) ранга (5), девять УСВО (2-мерных геометрий) ранга (4) и четыре УСВО (1-мерных геометрий) ранга (3). Для УСВО более высоких рангов ясен вид естественных обобщений указанных геометрий на большие размерности, но не доказана теорема отсутствия иных геометрий.

12.7. Выводы и замечания по реляционной концепции пространства-времени

1. Дискуссия по проблеме выбора реляционного или субстанциального подхода к сущности пространства-времени сейчас обострилась в связи с трудностями, возникшими в программе суперструн. Сторонники этой программы, продумывая основания своей теории, уже вынуждены обращать внимание на альтернативный взгляд в виде реляционной концепции. Так, Б. Грин в заключительной части своей книги, посвященной теории суперструн, пишет: «Готфрид Лейбниц и другие шумно спорили, провозглашая, что пространство и время — всего лишь регистрационные приборы для удобной записи соотношений между объектами и событиями во Вселенной. Положение объекта в пространстве и во времени имеет смысл только в сравнении с другим объектом. Пространство и время есть лишь словарь для разговора об этих отношениях, ничего более. Несмотря на то, что точка зрения Ньютона, поддержанная его тремя экспериментально проверенными законами движения, господствовала в течение более двух сотен лет, концепция Лейбница, развитая австрийским физиком Эрнстом Махом, гораздо ближе к современной картине» [51, с. 242].

2. В этой главе продемонстрирована реляционная формулировка пространственно-временных отношений в специальной теории относительности и, в частности, 3-мерных пространственных отношений, соответствующих геометрии Евклида. Таким образом, здесь дано решение задачи, сформулированной еще в середине XIX в. в работах де Тилли и Э. Маха. При построении геометрии в реляционной форме важную роль играют миноры определителей, через которые записываются законы геометрии.

3. В работах ряда авторов были предприняты попытки построения аксиоматики теории (унарных) физических структур, т. е. геометрий в реляционной форме. Очевидно, что такая аксиоматика существенно отличается от общеизвестных аксиоматик евклидовой геометрии или специальной теории относительности, опирающихся на триалистическое или теоретико-полевое миропонимания. Во главу угла реляционных ак-

сиоматик ставятся метрические аксиомы, а все остальное привязывается к свойствам метрики.

4. Реляционную формулировку пространственно-временных отношений можно пояснить с помощью ранее использованного куба физической реальности с одной заштрихованной (левой) гранью (см. рис. 12.3). В данном подходе принципиально важное значение приобретает тот

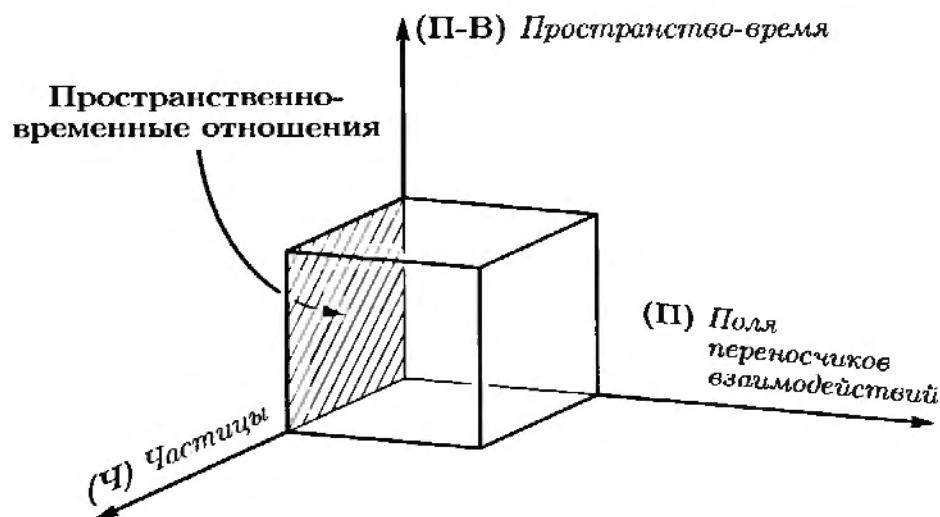


Рис. 12.3. Пространственно-временные отношения как категория реляционного миропонимания

факт, что в нем отсутствует априорно заданный фон в виде пространства-времени. Это понятие возникает лишь между событиями с участием материи, что трактуется как переход от двух категорий триалистической парадигмы (пространства-времени и материи) к новой обобщенной категории пространственно-временных отношений.

5. Во второй половине 60-х гг. XX в. реляционный подход получил достаточно вескую опору не только в идеологическом, но и в математическом плане, благодаря разработанной Ю. И. Кулаковым теории физических структур (теории систем отношений), претендующей на общефилософское звучание. Создание этой теории высоко оценил Нобелевский лауреат, академик И. Е. Тамм: «В рамках теории физических структур по-новому осмысливается проблема единства мира, — у современных ученых еще силен искус решении этой проблемы в субстанциалистическом духе. Однако не исчерпал ли себя этот подход? С точки зрения теории физических структур, более перспективно искать не исходную «первоматерию», а исходные «первоструктуры», — такая переформулировка проблемы единства мира представляется нам несравненно более преимущественной и в логическом, и в естественно-научном отношении» (см. в [91, с. II]).

6. Поскольку выбор между субстанциальным и реляционным подходами к пространству-времени затрагивает метафизические основания

физики, определенный историко-научный интерес представляет понимание их с позиции диалектического материализма. Так, в одном из наиболее квалифицированных учебных пособий по философии естествознания давалась следующая характеристика обоих подходов¹⁾: «Исторически сложилось два подхода к пространству и времени. Первый может быть назван субстанциальной концепцией. Пространство и время понимаются здесь как нечто самостоятельно существующее наряду с материей, как ее пустые вместилища. (...) Второй подход можно назвать реляционной концепцией пространства и времени. Наметки ее можно обнаружить еще у Аристотеля, но впервые со всей четкостью она сформулирована Г. Лейбницем. (...) С точки зрения реляционной концепции пространство и время не особые субстанциальные сущности, а формы существования материальных объектов. Пространство выражает сосуществование объектов, а время — последовательность их состояний. Реляционная концепция в философском плане была воспринята и развита диалектическим материализмом, в естественнонаучном плане — релятивистской физикой и в настоящее время наиболее полно отвечает уровню развития естествознания» [172, с. 137-139]. Таким образом, в диалектическом материализме обобщенная категория пространственно-временных отношений трактовалась как форма существования материи.

Далее автор делает уточнение: «Субстанциальная и реляционная концепции не связаны однозначно с материализмом и идеализмом. Здесь возможны любые сочетания» [172, с. 139]. Это замечание затушевывает метафизический характер используемой философской системы и делает ее безликой в столь важном вопросе для физики. Анализ показывает, что истинному диалектическому материализму должны были бы соответствовать взгляды Лейбница и Маха на пространство и время, однако философы были скованы критикой идей Маха в известной книге В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» [98], предопределившей позицию (марксистско-ленинского) диалектического материализма в основополагающем вопросе всего естествознания.

7. Изложенный выше материал по реляционной переформулировке геометрии и теории относительности совершенно не обязателен для решения большинства задач в уже сложившихся разделах геометрии и классической физики. Более того, данный подход малоинтересен для исследователей, придерживающихся триалистического или теоретико-полевого миропониманий, поскольку им необходим пространственно-временной фон, на котором вводятся поля. Еще менее интересен изложенный выше математический аппарат реляционного подхода для сторонников геометрического миропонимания, поскольку на его основе можно непосредственно прийти лишь к геометриям с максимальными

¹⁾Этот раздел был написан Л. Б. Баженовым.

симметриями типа геометрий Евклида, Минковского, Лобачевского или сферической геометрии Римана. Более общие геометрии Римана (с кривизной), используемые для построения общей теории относительности, из данных рассуждений не выводятся. Для их получения необходимо использовать вторую категорию реляционного подхода, причем в тесной связи с категорией пространственно-временных отношений, что будет показано в следующей главе.

8. Главная же задача реляционной переформулировки геометрии заключается в подготовке выхода за пределы классической геометрии и физики, точнее, — в подготовке вскрытия макроскопической природы классических пространственно-временных отношений и ряда важных понятий физики. Отметим, что модная ныне теория суперструн также нацелена на решение этой задачи, однако другими средствами, в плодотворности которых есть основания сомневаться. Тем не менее согласимся со словами Б. Грина: «В таком подходе, если его удастся реализовать, пространство, время и, соответственно, размерность не являлись бы определяющими элементами Вселенной. Они были бы лишь удобными понятиями, вытекающими из существования более фундаментального первичного состояния» [51, с. 244].

Концепция дальнодействия

В физике фактически возникла ситуация, аналогичная сложившейся в геометрии, где утвердились два подхода к сущности пространства и времени. Здесь также представлены две концепции взаимодействий: **близкодействие и дальнодействие**. Концепция близкодействия согласуется с субстанциальным подходом, т. е. с моделью пространства-времени как сосуда, вместилища всего сущего. С эфиром или без него она отвечает на вопрос, как акт взаимодействия преодолевает пространственно-временную разнотипность объектов и событий. Концепция же дальнодействия соответствует реляционному подходу к сущности пространства-времени и идет вразрез с доминирующей ныне теоретико-поленоей формулировкой физики.

Для дальнейшего изложения внесем необходимые уточнения терминологического характера, поскольку термин *дальнодействие* трактуется по-разному. Во-первых, данное понятие может означать взаимодействие между двумя объектами, передающееся на расстоянии без посредников. В этом смысле термин *дальнодействие* противоположен понятию *близкодействие*, когда взаимодействие передается с помощью некой среды или посредника. Во-вторых, этот термин часто ассоциируется с передачей воздействия одного объекта на другой с бесконечной скоростью без относительно к наличию посредника. В-третьих, данный термин иногда связывают с тем, как быстро убывают с расстоянием соответствующие силы или потенциалы. Например, гравитационное и электромагнитное взаимодействия в этой трактовке относят к дальнодействующим, тогда как слабое или сильное (ядерное) — к близкодействующим. Сразу же подчеркнем, что здесь в термин вкладывается именно первый смысл — *передача воздействий без посредника*.

В XX в. концепция дальнодействия в наиболее развитом виде была представлена теорией прямого межчастичного взаимодействия (*action-at-a-distance*) Фоккера—Фейнмана. В соответствии с приведенным пониманием дальнодействия в этой теории категория полей (переносчиков взаимодействий) исключается из числа исходных понятий: поля вводятся на некотором этапе развития теории, но лишь как вторичные

вспомогательные понятия, строящиеся из характеристик частиц. Можно сказать, что в теории прямого межчастичного взаимодействия категории пространства-времени и частиц, характерные для данного видения мира, берут на себя функции оставшейся категории полей переносчиков взаимодействий. Наглядно суть новой обобщенной категории иллюстрируется правой заштрихованной на рис. IV.1 гранью.

В прошлом веке теория прямого межчастичного взаимодействия составляла боковую ветвь теоретической физики, поэтому она не входила в вузовские программы и, следовательно, не получила должного освещения.

13.1. Истоки концепции дальнодействия

Обычно концепция дальнодействия в естествознании связывается с именем **Ньютона**, однако он сам не был последовательным ее сторонником и в письме к Бентли, в частности, писал: «Нельзя представить себе, каким образом неодушевленное грубое вещество могло бы без посредства чего-либо постороннего, которое несматериально, действовать на другое вещество иначе, как при взаимном прикосновении. А так должно было быть, если бы тяготение было, в смысле Эпикура, присуще материи. Вот почему я желал бы, чтобы Вы не приписывали мне учения о тяжести, прирожденной материи. Допустить, что тяготение врожденно материи, присуще ей, так что одно тело должно действовать на расстоянии через пустоту на другое без посредства чего-либо постороннего, помошью которого действие и сила от одного тела проводится к другому, есть для меня такая нелепость, что, полагаю, в нее не впадает ни один человек, способный к мышлению о философских вещах. Тяготение должно вызываться некоторым фактором, действующим согласно определенным законам» (цит. по [89, с. 155]).

Сторонники концепции близкодействия часто приводят эту цитату для подтверждения того, что Ньютон отвергал концепцию дальнодействия. Однако при этом опускается продолжение этой цитаты: «Какой это фактор, материальный и нематериальный, — я представляю размышлению моих читателей». В своих работах Ньютон то вводил эфир, то исключал его. Видимо, он чувствовал всю глубину этой проблемы, многое о ней размышлял, но не смог сделать окончательного выбора¹⁾.

¹⁾ Судя по другим его высказываниям, письмам и свидетельствам его современников, Ньютон склонялся к мистико-религиозному решению этого вопроса. Так, в записках его современника Грегори говорится: «У него были сомнения, может ли он выразить последний вопрос так: чем наполнено пространство, свободное от тел? Полнаястина в том, что он верит в вседесущее Божество в буквальном смысле. Так, как мы чувствуем предметы, когда изображения их доходят до мозга, так и Бог должен чувствовать всякую вещь, всегда присутствуя при ней. Он

Так, начиная с работ Ньютона, в физике возникла дилемма: какая концепция должна лежать в основе физической картины мира — дальнодействие или близкодействие? В дальнейшем предпочтение отдавалось то одной из них, то другой. Так, в начале и в середине XIX в. доминировала концепция дальнодействия. Главными сторонниками этой концепции выступали ведущие представители немецкой физической школы: В. Вебер, Л. Лоренц, Франц Нейман, Карл Нейман, Г. Т. Фехнер, К. Ф. Целльнер и некоторые другие (см. [15]). К ним примыкали такие известные математики, как Б. Риман и К. Гаусс. Напомним, их имена связаны с открытием неевклидовых геометрий, приведших к созданию общей теории относительности.

Известно, что в 1845 г. В. Вебер отправил на отзыв Гауссу свою работу «О всесобщем законе электрического действия», в которой излагались его взгляды в русле концепции запаздывающего дальнодействия, т. е. передающегося от одного заряда к другому с конечной скоростью. В ответном письме К. Гаусс с одобрением отозвался о его работе и упомянул о своих размышлениях над этой проблемой, добавив: «Я бы, без сомнения, давно опубликовал результаты моих исследований, если бы в то время не забросил их, поскольку мне не удалось найти то, что я считал краеугольным камнем: *Nil actum reputans si quid superesset agendum* [Пока не все сделано, считай, что ничего не сделано (лат.)], а именно вывод добавочных сил, дополняющих взаимодействие покоящихся электрических зарядов, когда они оба находятся в движении, — из действия, которое распространяется не мгновенно, но с течением времени, как в случае света» [113, с. 506]. Известно, что добавочные силы (силы Лоренца) затем были обоснованы в рамках максвелловской теории электромагнитного поля, которая надолго затмила концепцию дальнодействия.

Представителями немецкой физической школы было высказано много соображений, значительно опередивших свое время и предвосхитивших многое из того, что было получено либо значительно позже, либо проявилось в рамках реляционного видения мира, развивающегося в этой части книги. Опираясь на исследования по истории физики [15], перечислим некоторые из них.

1. В работах В. Вебера, К. Ф. Целльнера и других дальнодействие понималось как передающееся с некой конечной скоростью, т. е. было оторвано от традиционного в начале XIX в. представления о бесконечной скорости распространения дальнодействующего взаимодействия.

полагает, что Бог присутствует в пространстве как в свободном от тел, так и там, где тела присутствуют» [89, с. 152]. В «Оптике» Ньютон называет пространство «чувствилищем (*Sensorium*) Бога».

2. В работах К. Неймана и других отвергалось распространение электрического взаимодействия вне зависимости от существования «излучателя» и «приемника». Предполагалось обязательное наличие как источника, так и поглотителя, т. е. принципиально отвергалось излучение источником в пустоту (в никуда).

3. В ряде работ В. Бебера делался вывод, что «непосредственное взаимодействие двух электрических масс зависит не только от этих масс, но также от присутствия третьего тела» (см. [15, с. 225]), и проводилась аналогия с введенным Берцелиусом понятием «катализической силы». Тем самым делался еще один шаг от традиционного дальнодействия, где полагалось, что сила зависит только от расстояния между *двумя* телами.

Благодаря этому чрезвычайно важному предвидению устанавливались связи с философскими направлениями, утверждавшими, что поведение отдельных элементов системы не может быть описано без учета свойств системы в целом. Близкие идеи можно найти в философии Г. Лотце, во взглядах виталистов и других. В дальнейшем в физике эти идеи было принято связывать с принципом Маха.

4. Особо следует выделить работы К. Ф. Целльнера, в которых была выдвинута важная гипотеза: «Многие явления, для которых физика еще не нашла адекватного объяснения, на самом деле происходят в четырехмерном мире. При этом наши органы чувств фиксируют своего рода проекцию „четырехмерных процессов на трехмерный мир“» [15, с. 244]. Примечательно, что к 4-мерным процессам Целльнер относил не только гравитационное, но и электрическое взаимодействие. Конечно, четвертое измерение подразумевалось пространственным, а не времениподобным, как в специальной теории относительности. Фактически здесь предвосхищались идеи 5-мерных теорий Калуцы и Клейна.

5. Целльнер пошел дальше теории взаимодействий. В орбиту его размышлений попали и вопросы о сущности самого пространства. Целльнер отвергал ньютоново абсолютное пространство и связывал понятие пространства с взаимодействиями объектов: «пространство трех измерений определяется законом, по которому взаимодействие тел может меняться без изменения самих тел» [15].

6. Высказывались и другие идеи, в частности, уже в 70-е годы XIX столетия Целльнер проявлял интерес к работам Н. И. Лобачевского, Я. Бояи, Б. Римана по неевклидовым геометриям.

Во второй половине XIX в. в рамках концепции дальнодействия накопилось слишком много проблем, на которые физика того времени еще не могла дать ответ. Назовем главные из них.

A. Концепция дальнодействия опиралась на атомарную структуру материи, которая в тот период не представлялась очевидной.

- Б. В рамках концепции дальнодействия естественными были представления об элементарных носителях электрического заряда. Электроны и другие элементарные частицы еще не были открыты.
- В. Говоря о запаздывающем дальнодействии, его сторонники еще не могли опереться на универсальную роль скорости света, которая была осознана лишь после открытия специальной теории относительности.
- Г. Были некоторые различия между формулами, описывающими электромагнитные взаимодействия частиц в рамках двух концепций. В теории поля они оказались более совершенными.
- Д. Решение дифференциальных уравнений в рамках теории поля давало ряд технических преимуществ по сравнению с более громоздкими рассуждениями в рамках концепции дальнодействия.

Были и другие факторы, как объективного, так и субъективного (психологического) характера. С концепцией дальнодействия произошла примерно та же история, что и с идеей о многомерии физического мира (с 5-мерной теорией Калуцы). Идеи и выводы немецкой физической школы середины XIX в. намного опередили свое время. Во второй половине XIX в. после работ М. Фарадея и Д. К. Максвелла, увенчавшихся открытием уравнений электромагнитного поля, стало казаться, что в рамках теории поля удается избежать трудности прямого межчастичного взаимодействия. Концепция близкодействия тогда представлялась обладающей рядом неоспоримых преимуществ. В последней четверти XIX в. немецкая физическая школа, опирающаяся на концепцию дальнодействия, уступила первенство английской физической школе; и более чем на столетие теория поля стала доминирующей.

В итоге многие идеи и результаты немецкой физической школы середины прошлого века оказались забытыми. В учебниках по физике первой половины XX в. нередко утверждалось, что развитие физики продемонстрировало ошибочность концепции дальнодействия. Так, О. Д. Хвольсон (1852–1934) в своем широко известном в 20-е – 30-е годы «Курсе физики» посвятил специальный параграф критике концепции дальнодействия. Он начался словами: «Термином «*actio in distans*», т. е. «действие на расстоянии» обозначается одно из наиболее вредных учений, когда-либо господствовавших в физике и тормозивших ее развитие: это — учение, допускавшее возможность непосредственного действия чего-либо (А) на чего-либо (В), находящееся от него на определенном и столь большом расстоянии, что соприкосновение между А и В происходит не может. (...) В настоящее время ушло сделаться общим достоянием убеждение, что *actio in distans* не должна быть допускаема ни в одной области физических явлений. (...) Современная наука противится мысли о дальнодействии; считает невозможным, чтобы

какое-либо тело действовало там, где оно не находится, и заменила дальнодействие близкодействием, при котором всякое действие может быть произведено только в ближайшем соседстве с источником этого действия» [186, с. 181–183]. В завершении параграфа автор предупреждает «юных читателей не вдаваться в эту область фантазий» (имеется в виду учение о дальнодействии).

13.2. Альтернатива: близкодействие или дальнодействие

Однако идеи концепции дальнодействия не были окончательно утешены и получили свое развитие в работах Э. Маха, воспитанного в среде немецкой физической школы середины XIX в. Физика многим ему обязана, и главным образом его глубокому критическому анализу оснований ньютоновской механики, представлений об абсолютных пространстве и времени. Так, рассматривая в своей книге «Познание и заблуждение» соотношение концепций дальнодействия и близкодействия, он писал: «Мысль Ньютона о силах, действующих на расстоянии, была великим умственным событием, которое позволило в течение одного столетия построить однородную математическую физику. В этой мысли выразилась некоторая духовная дальновидность. Он видел факт ускорений на расстоянии и признал его важное значение; посредники, передающие эти ускорения, казались ему неясными, и он до времени оставлял их без внимания» [105, с. 441].

Соотношение двух концепций обсуждал также А. Пуанкаре в «Последних мыслях»: «Нам представляется, что мы лучше понимаем передачу действия путем соприкосновения, нежели действие на расстоянии. Это последнее содержит в себе нечто таинственное, естественно наводящее на мысль о некотором вмешательстве в наш мир извне и именно поэтому я говорю сейчас, что механизмы пронизан материализмом. Призвание ученых состоит в том, чтобы устранить все таинственное и тем самым всегда продвигаться хотя бы немного вперед. (...) И когда где-нибудь обнаруживают действие на расстоянии, стремятся представить себе и промежуточную среду, которая обладает свойством передавать это действие от точки к ближайшей точке. Однако на этом пути продвинулись не слишком-то далеко, ибо если эта среда непрерывна, то это не дает никакого удовлетворения нашей привязанности к Простоте, т. е. нашей потребности все понимать. Если же она состоит из атомов, то атомы не могут находиться в постоянном соприкосновении, хотя они и расположены на очень малых расстояниях друг от друга, равных, по всей видимости, одной миллиардной миллиметра. Но это все-таки конечное расстояние, и его значение такого же характера, как и километра, — для философа это в принципе одно и то же. Ведь необходимо,

чтобы действие передавалось от одного атома к другому — только так оно становится действием на расстоянии» [135, с. 490].

Идеи дальнодействия были возрождены в 20-х гг. XX в. в работах К. Шварцшильда, Г. Тетроде и А. Д. Фоккера, благодаря которым концепция прямого межчастичного взаимодействия получила четкую математическую формулировку. Было показано, что теория электромагнетизма, построенная на ее основе, согласуется с теорией Максвелла для статических и стационарных электромагнитных явлений. Тогда же были выявлены и основные трудности, препятствовавшие развитию этой теории. Главная из них состояла в равноправности запаздывающих и опережающих взаимодействий.

В нашей стране концепция дальнодействия активно отстаивалась Я. И. Френкелем [179, 181], о чем свидетельствуют сохранившиеся стенограммы диспутов, проводившихся в ленинградском Политехническом институте в декабре 1929 г. и в январе и марте 1930 г. На этих диспутах Френкель утверждал: «Я думаю, однако, что мы должны считать фундаментальной реальностью не поле, но материю, т. е. движение и взаимодействие материальных частиц, а электромагнитное поле рассматривать как вспомогательную конструкцию, служащую для более удобного описания этого взаимодействия. Наконец, я полагаю, что оно представляет собой дальнодействие, которое мы никоим образом не должны сводить к какому-то действию и близкодействию, осуществляющемуся через какую-либо промежуточную материальную среду или при помощи материализованных силовых линий. (...) Позвольте прежде всего доказать вам, что физическим абсурдом является именно представление о близкодействии, а физической реальностью, физически обоснованным является представление о дальнодействии. Как нам ни трудно представить себе это дальнодействие, да еще запаздывающее, все же нам необходимо сделать соответствующее усилие для того, чтобы освободиться от тех привычек, которые сложились у нас в эпоху, когда наши познания были недостаточны» [180, с. 25]. «Разрешите мне сейчас проанализировать понятие близкодействия так, как оно фигурирует в теории Фарадея, так, как его представлял себе Максвелл, и показать вам, что это близкодействие, действующее через промежуточную среду, представляет собой только иллюзию, только замаскированное дальнодействие. Не дальнодействие оказывается необходимым сводить к близкодействию, а, наоборот, близкодействие к дальнодействию» [180, с. 73].

В защиту своей позиции Френкель приводил три основных довода. Первый (он называл его «антропоморфным») довод состоит в том, что у нас укоренились представления о воздействии на предметы через непосредственное соприкосновение. Второй довод кроется в привычке оперировать дифференциальными уравнениями, обычно ассоциируемыми со сплошной средой. Третий довод близок к содержавшемуся в уже

упомянутом высказывании А. Пуанкаре. Френкель говорил: «Если частицы, из которых состоит рассматриваемое тело, отделены друг от друга пустыми промежутками, то каким образом они действуют друг на друга? Вы можете сказать, что когда одно тело толкает другое, то одни частицы нажимают на соседние и таким образом осуществляется непосредственное соприкосновение. Ну а если вы тело растягиваете, как тогда действуют соседние частицы его друг на друга?» [180, с. 76] Он утверждал, что введение новой межмолекулярной среды «николько не решает вопроса о сведении дальнодействия к близкодействию, а лишь сводит дальнодействие на очень малых расстояниях к дальнодействию на еще меньших расстояниях».

Добавим к этому четвертый довод. Концепция близкодействия опирается, по существу, на *нерелятивистское* понятие контакта, означающее, что взаимодействие осуществляется, когда расстояние между частицами i и j равно нулю ($r_{ij} = 0$). Частица взаимодействует с полем, находящимся в этой же точке, затем поле последовательно передает воздействие от одной точки пространства к другой, бесконечно близкой, по цепочке, пока не достигнет положения второй частицы. В релятивистской теории, как известно, время и пространство объединяются в одно 4-мерное многообразие. Релятивистски неинвариантное понятие расстояния r_{ij} следует заменить на релятивистски инвариантное понятие интервала $s_{ij} = \sqrt{c^2 t_{ij}^2 - r_{ij}^2}$. Тогда релятивистское понятие контакта означает $s_{ij} = 0$, что соответствует взаимодействию (контакту) частиц на изотропных конусах с вершинами в местах расположения частиц. В этом смысле можно считать теорию запаздывающего дальнодействия более соответствующей релятивистской идеологии (теории относительности), нежели общепринятую теорию поля.

Упомянутые диспуты, начавшиеся с обсуждения физических проблем, переросли в дискуссию о выборе одной из двух концепций — близкодействия или дальнодействия, причем участники диспутов так и не пришли к окончательному выводу. Основным докладчиком, отстаивавшим концепцию близкодействия, был профессор политехнического института В. Ф. Миткевич. На первый план дискуссии выдвинулся поставленный им вопрос: Если взять два пространственно разделенных тела и окружить одно из них сферой радиуса, меньшего их взаимного расстояния, то при их взаимодействии пересекает ли нечто разделяющую их сферу? В зависимости от ответа «да» или «нет» участники диспута делились на сторонников близкодействия или дальнодействия соответственно. Сам Миткевич говорил решительное «да». Френкель, являвшийся главным оппонентом, занял противоположную позицию: «С моей точки зрения — ответ отрицательный: никакой промежуточной среды, с которой это поле было бы связано, никакого материального

носителя поля не существует. Мы имеем пустое пространство, в которое вкраплены отдельные электроны, действующие друг на друга на расстоянии» [156]. Мнения участников разделились. На стороне Френкеля были А. Ф. Иоффе, И. Е. Тамм, С. И. Вавилов, Г. А. Гамов и ряд других видных физиков, тогда как В. Ф. Миткевич поддерживал ряд ученых, имена которых мало что говорят современным читателям. Главный итог диспутов состоял в констатации наличия двух взаимно исключающих позиций.

Аналогичные дискуссии продолжались на ряде сессий академии наук: в ноябре 1931 г., феврале и октябре 1933 г., в апреле 1934 г. и в марте 1936 г. Характер проходивших дискуссий отображен в статье А. С. Сонина [156], специально посвященной этому вопросу. Как пишет Сонин, были изъяны в позициях обеих сторон, причем приводимые автором оценки свидетельствуют об актуальности былых дискуссий и в наши дни: «С позиций сегодняшнего дня принципиальная позиция В. Ф. Миткевича является физически обоснованной. В мире действительно господствует близкодействие и электромагнитное поле есть не вспомогательная умозрительная конструкция. Но электромагнитное поле не нуждается в специальном носителе типа эфира, а само является физической реальностью, особым видом материи. Возникает вопрос: почему Френкель, глубокий теоретик, работающий в самых современных разделах физики, в те годы разделял идею *actio in distans*? По-видимому, здесь действовали две причины. Во-первых, гипноз современных математических методов, которые хорошо описывают взаимодействие зарядов без учета промежуточной среды. Во-вторых, неприятие эфира, изгнанного из физики теорией относительности, который пытался реанимировать Миткевич» [156, с. 279].

Примечательна также выявленная Сониным эволюция позиций главных участников этих дискуссий. Позиция Миткевича осталась неизменной, тогда как Френкель свои взгляды постепенно менял. Как пишет Сонин, «вначале он считал, что электромагнитное поле — это просто удобный прием для описания взаимодействия зарядов, а на самом деле взаимодействие осуществляется через пустоту, но с конечной скоростью. Затем он признал реальность электромагнитного поля, но не счел возможным отнести его к материи, под которой он понимал только электрические заряды. И в конце концов согласился считать электромагнитное поле особым видом материи. Правда, при этом он отказал ему в наличии пространственных перемещений» [156, с. 288].

Эти слова в какой-то степени подтверждаются статьей Я. И. Френкеля [181], опубликованной уже после его кончины сыном. Как представляется автору, эта эволюция взглядов Френкеля была обусловлена тем, что он, говоря о реляционном подходе к описанию взаимодействий (о концепции дальнодействия), не учитывал должным образом реля-

ционный же подход к природе пространственно-временных отношений. В его рассуждениях фактически присутствовал априорно заданный пространственно-временной фон («пустое пространство»). Забегая вперед, отметим, что аналогичный дефект потом выявился и в позиции Р. Фейнмана при реляционной переформулировке квантовой механики (на основе суммирования по траекториям).

Возвращаясь к вопросу, который В. Ф. Миткевич ставил в ходе диспутов, отметим, что представления о переносе света фотонами, распространяющимися от источника через все промежуточные точки до приемника (до нашего глаза) глубоко укоренились. А как же иначе? Утверждается, что об этом якобы свидетельствует огромное количество экспериментов. Однако стоит задуматься, действительно ли эти эксперименты доказывают, что каждый из фотонов непосредственно проходит через *все промежуточные точки пространства от источника до глаза?* Возьмем конкретный фотон и попытаемся его обнаружить где-то между источником и глазом. Как только мы его зафиксируем, он уже в наш глаз не попадет. Попасть могут только другие фотоны, о каждом из которых можно сказать то же самое. Таким образом, эксперименты не доказывают прохождения каждого отдельно взятого фотона через все промежуточные точки пространства от источника до глаза.

13.3. Принцип Фоккера в электродинамике

1. Изложим суть теории прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия Фоккера—Фейнмана. В ней существенно изменяется принципиальная блок-схема теоретической конструкции. Вместо блок-схемы (3.1.1) концепции близкодействия (триалистической парадигмы или теоретико-полевой парадигмы) используется схема:

Совокупность парных пространственно-временных отношений

Совокупность парных токовых отношений

(13.3.1)

В этой таблице отсутствуют отдельные категории пространства-времени и частиц. Вместо них введены две обобщенные категории: пространственно-временные отношения, рассмотренные в предыдущей главе, и токовые отношения, определенные ниже. Кроме того, здесь отсутствует категория поля, являвшаяся промежуточным звеном между взаимодействующими частицами в блок-схеме концепции близкодействия (3.1.1). Вместо категории поля здесь используется обобщенная категория токовых отношений.

Особо следует подчеркнуть, что в блок-схеме (13.3.1) указаны совокупности парных отношений между всеми событиями (частицами, участвующими во взаимодействиях).

2. Теория прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия Фоккера является упрощенным вариантом реляционной теории, в которой из всего мира выделяется пара взаимодействующих частиц. Ключевым понятием этой теории, объединяющим в себе характеристики двух обобщенных категорий, является классическое действие S . Уравнения движения частиц, как и в прежних парадигмах, находятся посредством вариационного принципа $\delta S = 0$, который в терминах реляционной парадигмы называется *принципом Фоккера*.

Обозначим две выделенные частицы символами 1 и 2. Для них классическое действие $S_{1,2}$ представляется в виде

$$S_{1,2} = S_0(1) + S_{int}(1, 2) + S_0(2) \equiv S_0 + S_{int}(1, 2), \quad (13.3.2)$$

где $S_0(1)$, $S_0(2)$ и $S_0 = S_0(1) + S_0(2)$ действия для «свободных» выделенных частиц (в общепринятой терминологии). Сразу же подчеркнем, что в реляционной концепции в принципе нет свободных частиц. Как будет показано ниже, в данном подходе эти слагаемые имеют смысл сумм отношений выделенных частиц со всеми частицами окружающего мира, кроме парного отношения между самими этими частицами, которое записано отдельно в виде слагаемого S_{int} .

3. В принципе Фоккера для случая электромагнитного взаимодействия $S_{int}^{(e)}(1, 2)$ имеет вид

$$S_{int}^{(e)}(1, 2) = -\frac{1}{c} \int \int j_{(1)}^\mu j_{(2)\mu} \delta(s^2(1, 2)) ds_1 ds_2, \quad (13.3.3)$$

где e_1 и e_2 — электрические заряды двух частиц, $j_{(1)}^\mu = e_1 dx_1^\mu / ds_1$ — вектор 4-тока частицы с номером 1; ds_1 , ds_2 — смещения вдоль мировых линий частиц; $\eta_{\mu\nu}$ — метрический тензор пространства-времени Минковского. Интегрирование производится вдоль мировых линий выделенных частиц. Поскольку в классической теории полагается, что каждая частица участвует в огромном количестве событий, то ее удобно аппроксимировать в виде непрерывной мировой линии.

Под знаком интеграла в (13.3.3) стоят два инвариантных парных отношения, соответствующие двум обобщенным категориям в (13.3.1). Слагаемое $j_{(1)}^\mu j_{(2)\mu}$ — скалярное произведение токов двух взаимодействующих частиц — характеризует токовое парное отношение. Выражение $s^2(1, 2)$ во втором слагаемом под интегралом — квадрат интервала между точками на мировых линиях двух частиц — характеризует пространственно-временное отношение, а дельта-функция от нее представ-

ляется в виде¹⁾:

$$\delta(s^2(1, 2)) = \delta(c^2 t_{12}^2 - r_{12}^2) = \frac{1}{2|r_{12}|} [\delta(ct_{12} - r_{12}) + \delta(ct_{12} + r_{12})], \quad (13.3.4)$$

где t_{12} и r_{12} — промежуток времени и расстояние между положениями взаимодействующих частиц.

4. Представление δ -функции в виде двух частей справа в (13.3.4) означает, что при фиксированном положении частицы с номером 1 в некоторый момент времени t_0 (на ее мировой линии) взаимодействие между частицами происходит при двух положениях второй частицы: в предшествующий момент t' и в будущий момент t'' , соответствующих двум пересечениям конусов прошлого и будущего (с вершиной на мировой линии первой частицы в момент t_0) с мировой линией второй частицы (см. рис. 13.2). С точки зрения первой частицы, взаимодействие,

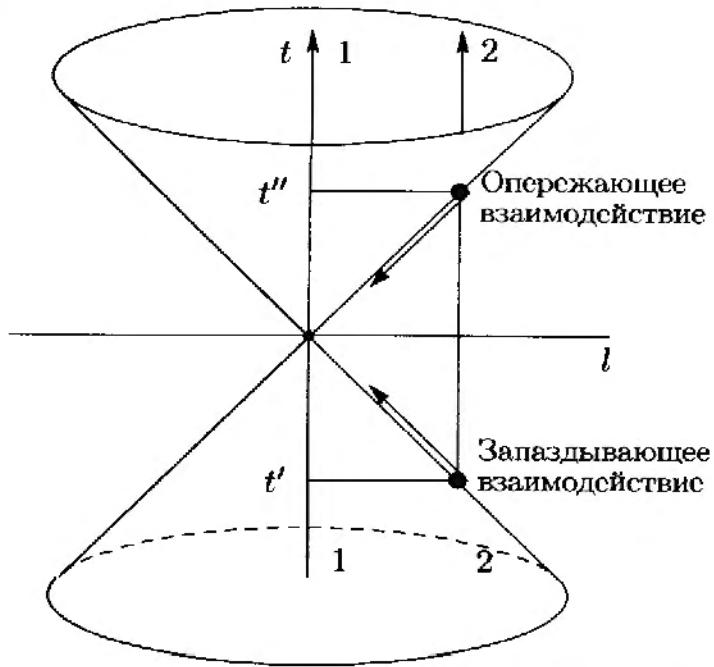


Рис. 13.1. Опережающее и запаздывающее взаимодействия двух частиц

определенное положением второй частицы в момент t' , называется *запаздывающим*, а положением в момент t'' — *опережающим*. Таким образом, согласно принципу Фоккера, запаздывающее и опережающее взаимодействия присутствуют симметричным образом. В 20-х — 30-х гг. это представляло основную трудность теории прямого межчастичного взаимодействия. Можно было говорить о совпадении этой теории с общепринятой теорией поля лишь для статических и стационарных электромагнитных явлений.

¹⁾Со свойствами дельта-функции можно подробно ознакомиться в [70, с. 11–37].

Полное действие для системы взаимодействующих электрических зарядов в классической теории прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия записывается в виде (13.3.2), где в S_0 входят «свободные» действия всех частиц, а в S_{int} — все возможные парные взаимодействия.

5. Поясним, как в теории прямого межчастичного взаимодействия можно ввести вторичные (вспомогательные) понятия, соответствующие потенциалам и напряженностям электромагнитного поля. Для этого из обобщения (13.3.1) на систему из всех заряженных частиц мира следует выделить одну частицу, например, с номером $i = 1$ и записать для нее действие в более привычной форме

$$S_1^{(e)} = -m_1 c \int ds_1 - \frac{1}{c} \sum_{k \neq 1} \int j_{(1)}^\mu A_\mu(1, k) ds_1, \quad (13.3.5)$$

где введено обозначение для отдельного вклада

$$A_\mu(1, k) = \int j_{(k)\mu} \delta(s^2(1, k)) ds_k, \quad (13.3.6)$$

который интерпретируется как векторный электромагнитный потенциал, создаваемый зарядом e_k в том месте, где находится заряд e_1 . Очевидно, в определение электромагнитного потенциала входят пространственно-временные положения частиц (в виде дельта-функции) и характеристики частиц (их скорости и заряды).

Объединяя вклады всех заряженных частиц, получаем суммарный электромагнитный потенциал $A_\mu(1) = \sum_{k \neq 1} A_\mu(1, k)$ в месте нахождения заряда с номером 1 и действие для выделенной частицы:

$$S_1^{(e)} = -m_1 c \int ds_1 - \frac{1}{c} \int j_{(1)}^\mu A_\mu(1) ds_1, \quad (13.3.7)$$

формально совпадающее с общепринятым выражением в электродинамике Максвелла—Лоренца. Однако следует подчеркнуть, что в теории прямого межчастичного взаимодействия бессмыленно говорить о потенциале в точках пространства-времени, где отсутствуют электрические заряды.

6. Из действия (13.3.7) с помощью принципа наименьшего действия легко получить уравнение движения выделенной заряженной частицы, которое имеет знакомый вид

$$m_1 \eta_{\mu\nu} \frac{d^2 x_1^\nu}{ds_1^2} = \frac{e_1}{c^2} F_{\mu\nu}(1) \frac{dx_1^\nu}{ds_1}, \quad (13.3.8)$$

где введен тензор электромагнитного взаимодействия в точке нахождения заряда с номером 1. Можно показать, что он тождественно удовлетворяет соотношениям, аналогичным уравнениям Максвелла. Легко

убедиться, что определенный, согласно (13.3.6), векторный потенциал автоматически удовлетворяет условию калибровки Лоренца

$$\frac{\partial A^\alpha(i, k)}{\partial x_i^\alpha} = 0. \quad (13.3.9)$$

7. Таким образом, приходим к выводу, что в теории прямого электромагнитного взаимодействия типа Фоккера Фейнмана.

- 1) *нет потенциалов поля в точках пространства-времени, где отсутствуют частицы, а следовательно, и нет полевых уравнений Максвелла;*
- 2) *потенциалы электромагнитного взаимодействия можно ввести в местах расположения заряженных частиц и для них выполняются тождества, соответствующие уравнениям Максвелла.*

Отметим, что если допустить существование векторных потенциалов во всех точках непрерывного пространства-времени, то в математическом плане две теории — поля и прямого межчастичного взаимодействия — окажутся эквивалентными. Они отличаются исходными положениями. В теории поля исходят из дифференциальных уравнений, из которых можно найти функцию Грина и записать решение в интегральном виде. В теории прямого межчастичного взаимодействия исходным является задание функции Грина, которая определяется через дельта-функцию в (13.3.4). Зная ее, можно восстановить соответствующее ей дифференциальное уравнение. Однако для физики допущение о распространении значений потенциалов на все точки пространства-времени имеет существенное значение.

13.4. Фейнмановская теория поглотителя

1. В теории прямого межчастичного взаимодействия фоккеровского типа, по определению, взаимодействие между любыми двумя электрическими зарядами (или массами) является наполовину запаздывающим и наполовину опережающим, причем исключить ненаблюдаемые на опыте опережающие взаимодействия волевым образом, как это фактически делается в теории поля, не представлялось возможным. В итоге получилось так, что фоккеровская теория была эквивалентна теории поля Максвелла—Лоренца лишь при описании статических и стационарных электромагнитных явлений.

И только в 1945 г. Р. Фейнман и Дж. Уилер показали [164], что эту трудность в теории электромагнитного взаимодействия можно преодолеть, если сделать следующий шаг к целостному восприятию мира, т. е. если учесть вклады во взаимодействия между любыми двумя зарядами со стороны всех других зарядов Вселенной, — своеобразный «отклик

Вселенной» на процесс «излучения» (на акт взаимодействия). Методика корректного учета отклика Вселенной составила важную часть всей теории прямого межчастичного взаимодействия, названной Фейнманом и Уилером *теорией поглотителя*. Она основана на трех постулатах¹⁾:

- 1) ускоренный заряд в пустом пространстве «не излучает»;
- 2) силы, действующие на любую частицу, слагаются из вкладов взаимодействий со всеми другими частицами Вселенной;
- 3) эти взаимодействия являются наполовину опережающими и наполовину запаздывающими, эквивалентными соответствующим половинам решений Лиенара—Вихерта уравнений Максвелла.

В упомянутой работе 1945 г. было показано, что если во Вселенной имеется достаточно большое число заряженных частиц, то суммарное воздействие их на частицу-приемник излучения полностью компенсирует опережающее взаимодействие от источника. Кроме того, опережающая часть того же суммарного воздействия, суммируясь с запаздывающим воздействием источника на приемник, приводит к наблюдаемому на опыте запаздывающему взаимодействию.

2. Поясним это с помощью рис. 13.2. Пусть на мировой линии заряженной частицы (назовем ее просто зарядом) i в некоторый момент времени $t = 0$ произошло событие (акт взаимодействия, т. е. «излучение» сигнала). Выберем начало координат в точке, где произошло событие. Окружающий эту частицу мир смоделируем достаточно толстым шаровым слоем зарядов с внутренним радиусом R . На рис. 13.2 внутренняя поверхность этого слоя в сечении обозначена мировыми линиями частиц k и s .

Рассмотрим влияние прошедшего в точке O в момент $t = 0$ события на второй пробный заряд j , расположенный на расстоянии l_{ij} от мировой линии заряда i . В момент времени R/c из точек C^+ и D^+ (а еще позже и от всех других зарядов поглотителя на конусе будущего) назад во времени начнут «распространяться» в точку O опережающие сигналы, чтобы «сойтись» в O в момент $t = 0$. К пробному заряду j в момент $t = -l_{ij}/c$ (т. е. в точку B^-) «придут» опережающие сигналы из точки D^+ слоя (и от всех других точек в слое на конусе) и из точки O . Вычисления с суммированием по всем частицам слоя показывают, что в точке B^- строго выполняется соотношение

$$F_{B^-}^{adv}(j, \sum k) + F_{B^-}^{adv}(j, i) = 0, \quad (13.4.1)$$

где $F_{B^-}^{adv}(j, i)$ — опережающее воздействие (соответствующее напряженности электромагнитного поля) на заряд j со стороны излучателя-заряда i ; $F_{B^-}^{adv}(j, \sum k)$ — опережающее воздействие на заряд j со стороны всех зарядов ($\sum k$) из поглотителя — окружающего слоя.

¹⁾Формально они относятся и к гравитационному, и к иному взаимодействию.

Аналогично, в точку B^+ на мировой линии пробного заряда j в момент времени $t = l_{ij}/c$ «придут» опережающие сигналы $F_{B^+}^{adv}(j, \sum s)$ от зарядов s в шаровом слое поглотителя и запаздывающий сигнал $F_{B^+}^{ret}(j, i)$ от заряда i . Вычисления показывают, что эти вклады имеют одинаковый знак и равны по величине

$$F_{B^+}^{adv}(j, \sum s) + F_{B^+}^{ret}(j, i) = 2F_{B^+}^{ret}(j, i), \quad (13.4.2)$$

т. е. происходит удвоение исходного запаздывающего парного взаимодействия.

3. На этот результат можно взглянуть иначе. На источник i «падает» совокупность практически плоских опережающих «волн» (в терминах теории поля) от всех зарядов поглотителя (опережающее воздействие). В момент ускорения частицы-источника сходящаяся «волна» коллипсирует, и в следующий момент времени она «расходится» от источника вместе с его собственным излучением (их амплитуды одинаковы). Произвольный заряд-приемник j не может различить эти две «волны» (воздействия) разного происхождения и реагирует на них как на единое целое, т. е. как на удвоенное запаздывающее воздействие.

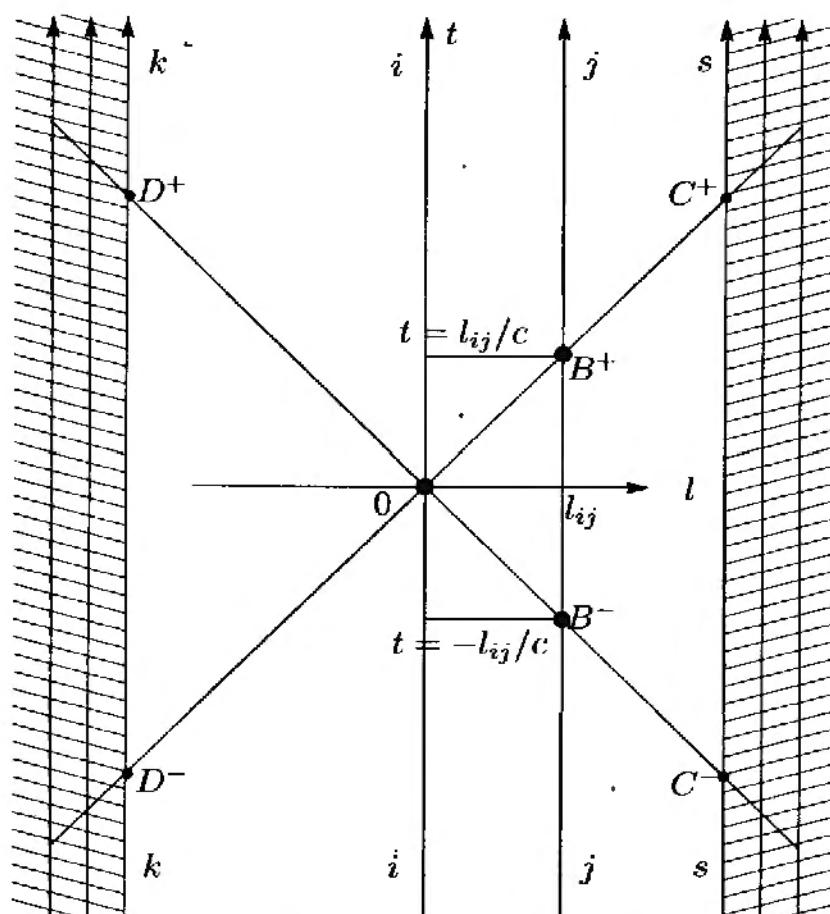


Рис. 13.2. Влияние фейнмановского поглотителя на взаимодействие двух зарядов

4. При получении данных результатов был сделан ряд упрощающих допущений, как то: предположение о малой плотности зарядов в поглотителе, допущение о равномерности их распределения; считалось, что эти заряды свободные и т. д. Возникает естественный вопрос: а не изменяются ли результаты в более общих случаях? Фейнман подробно проанализировал этот вопрос и показал, что полученные результаты не зависят от подобных обобщений, — существенно лишь предположение о достаточно большом количестве зарядов в поглотителе, т. е. «абсолютность» поглотителя.

5. Другой принципиально важный результат, следующий из учета поглотителя, состоит в том, что сам «излучающий» источник i получает дополнительное воздействие в виде силы

$$f = \frac{2e_i^2}{3c^3} \frac{da_i}{dt}. \quad (13.4.3)$$

В итоге уравнение движения «излучающей» частицы i имеет вид

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = e\vec{E} + \frac{e}{c} [\vec{v}\vec{H}] + \frac{2e^2}{3c^3} \frac{d^2\vec{v}}{dt^2}, \quad (13.4.4)$$

где \vec{E} и \vec{H} — внешние напряженности электрического и магнитного воздействий. Таким образом, в теории прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия автоматически возникает сила радиационного трения, которая оказывается обусловленной воздействием на «излучающую» частицу со стороны всех частиц окружающей Вселенной.

Следует вспомнить, сколько усилий было затрачено на объяснение силы радиационного трения в рамках традиционной теории поля (в теоретико-полевом видении мира), причем там до сих пор не устранены все трудности.

6. Заметим, приведенные рассуждения не однозначны. Неявно был использован существенный постулат, что любое воздействие (излучение) от источника будет поглощено окружающей материи Вселенной, а воздействие на заряд j со стороны источников из прошлого практически равно нулю. Всю изложенную схему рассуждений можно перевернуть. Для этого достаточно постулировать, что в будущем отсутствуют возможные поглотители, тогда как в прошлом имеется достаточно много источников (постулат «абсолютного излучателя»). В этом случае суммарное запаздывающее воздействие от i на j (с учетом отклика Вселенной) обращается в нуль, а опережающее воздействие удваивается. Следовательно, для выбора одной из указанных схем рассуждений необходимы дополнительные соображения. Фактически здесь встает проблема обоснования направления «стрелы времени» (по образному выражению

А. Эддингтона), т. е. направленности всей эволюции физического мира в будущее. В работах Фейнмана и Уилера были использованы термодинамические соображения, однако рядом авторов для этой цели стали привлекаться свойства космологических моделей.

13.5. Принцип Маха и концепция дальнодействия

Фейнмановская теория поглотителя, т. е. учет взаимодействия с частицами всей окружающей Вселенной, соответствует принципу Маха и взглядам немецкой физической школы середины XIX в., согласно которым физический мир представляет собой неразрывное целое, так что свойства его отдельных частей, обычно понимаемые как локальные (присущие отдельно взятым системам), на самом деле обусловлены распределением всей материи мира, или глобальными свойствами Вселенной. Мах писал: «Дело именно в том, что природа не начинает с элементов, как мы вынуждены начинать. Для нас во всяком случае счастье то, что мы в состоянии временами отвлечь наш взор от огромного целого и сосредоточиться на отдельных частях его. Но мы не должны упускать из виду, что необходимо впоследствии дополнить и исправить дальнейшими исследованиями то, что мы временно оставили без внимания» [106, с. 199].

Уже в середине XX в. Ф. Хайл и Дж. В. Нарликар в духе принципа Маха писали: «Во многих проблемах возможно «отделить» эффект Вселенной в том смысле, что влияние Вселенной остается эффективно постоянным внутри рассматриваемого пространственно-временного объема, к которому относятся эти проблемы. (...) Если читатель допустит на мгновение, что такая точка зрения верна, то ему станет ясно, что, вероятно, более легки именно те проблемы, в которых Вселенная проявляется в виде постоянного влияния окружающей среды, нежели те, в которых это влияние переменило. Самыми эффективными преимуществами обладают такие проблемы, где постоянное влияние Вселенной может быть заменено эмпирически найденными значениями, как, например, значения масс. Обычно практика благоразумного физика концентрируется на тех проблемах, где может быть достигнут прогресс, поэтому возникает положение, при котором все решенные проблемы представляют случаи такой развязки от влияния Вселенной» [188, с. 2].

Подобная позиция распространялась Махом буквально на все обсуждаемые в его время физические понятия и явления. Видимо, отсюда и возникло множество пониманий принципа Маха. Нам представляется, что в самом широком смысле под принципом Маха следует понимать идею об обусловленности локальных свойств частиц закономерностями и распределением всей материи мира, т. е. глобальными свой-

ствами Вселенной. Это относится к обсужденному выше отсутствию опережающих взаимодействий, к появлению сил радиационного трения, к значениям масс частиц и ко многим другим свойствам материи.

С принципом Маха также можно связать гипотезу П. А. М. Дирака о связи фундаментальных физических констант и о совместном их изменении. Здесь имеется в виду замеченная Дираком связь между фундаментальными константами, характеризующими, с одной стороны, элементарные частицы, и, с другой стороны, глобальные свойства Вселенной (ее размер, скорость расширения). Ряд таких любопытных соотношений указывался и анализировался в работах А. Эддингтона [200], Г. А. Гамова, К. П. Станюковича, В. Н. Мельникова [157] и других авторов.

Во время приезда в нашу страну в 1971 г. Дж. А. Уилер в беседе с теоретиками МГУ поднял вопрос: почему все электроны мира обладают одинаковыми электрическими зарядами независимо от места и способа наблюдения? Он сам же и дал ответ на этот вопрос, написав на стене кафедры теоретической физики над уже упоминавшейся фразой Нильса Бора слова: «Не может быть физики элементарных частиц, имеющей дело лишь с частицами». И расписался: «Ученик Н. Бора». Из этой фразы и из содержания беседы следовало, что Уилер имел в виду влияние всех частиц мира на отдельные взаимодействующие частицы.

Наиболее часто принцип Маха понимается как обусловленность *инертных* масс распределением всей материи Вселенной. Так, Дж. Нарликар писал: «Ньютоновская концепция инерции и ее измерение в единицах массы были для него неудовлетворительными. Если масса — количество материи в теле, то как понимать ее измерение? Для Маха масса и инерция были не внутренними свойствами тела, а следствиями существования во Вселенной, содержащей другую материю. Для того, чтобы измерить массу, необходимо использовать соотношение $\vec{F} = m\vec{a}$, т. е. измерить силу и поделить ее на производимое ею ускорение. Но 2-й закон Ньютона сам зависит от использования абсолютного пространства, которое теперь идентифицируется с фоновым пространством далекой материи. Таким образом, согласно идеи Маха, масса как-то определяется далекой материей» [113, с. 500].

Для реализации принципа Маха в такой его формулировке Ф. Хайл и Дж. Нарликар в большой серии работ (1964–1979) развили специальную теорию (см. [188]), названную ими теорией прямого межчастичного гравитационного взаимодействия, однако ее правильнее было бы назвать специальным вариантом теории прямого межчастичного скалярного взаимодействия на фоне искривленного пространства-времени общей теории относительности. Полученные Хайлом и Нарликаром результаты демонстрируют другой вариант теории фоккеровского типа — теорию прямого межчастичного скалярного взаимодействия.

13.6. Прямое межчастичное гравитационное взаимодействие

Идеи Маха (немецкой физической школы XIX в.) были возведены в ранг принципа А. Эйнштейном в 1919 г.: «Принцип Маха: G-поле (метрическое поле. — Ю. В.) полностью определено массами тел. Масса и энергия, согласно следствиям специальной теории относительности, представляют собой одно и то же; формально энергия описывается симметричным тензором энергии: это означает, что G-поле обусловливается и определяется тензором энергии материи» [202, с. 613]. В примечании Эйнштейн разъясняет: «Название «принцип Маха» выбрано потому, что этот принцип является обобщением требования Маха, что инерция должна сводиться к взаимодействию тел».

Как уже упоминалось, создавая общую теорию относительности, Эйнштейн был уверен, что реализует идеи Маха. Это проявилось, например, в письме Эйнштейна к Маху от 25 июня 1913 г.: «В будущем году во время солнечного затмения будет проверено, изгибаются ли световые лучи Солнцем или, другими словами, верно ли основное фундаментальное предположение об эквивалентности ускоренной системы и гравитационного поля. Если это так, то Ваши вдохновляющие исследования об основах механики — вопреки несправедливой критике Планка — получат блестящее подтверждение. Тогда неизбежным будет то, что инерция проявляется как своего рода взаимодействие тел, вполне в духе Вашей критики ньютонаовского эксперимента с вращающимся сосудом» [187, с. 262].

Однако вскоре после создания общей теории относительности стало ясно, что в ней принцип Маха выполняется в значительно более узком смысле. Его выполнимость можно усмотреть в том, что метрика становится функцией координат и зависит от распределения окружающей материи. Она находится из уравнений Эйнштейна, содержащих справа тензор энергии-импульса материи. Однако уравнения Эйнштейна допускают и вакуумные решения, т. е. в отсутствие материи.

Эйнштейн ожидал большего. То ли из-за осознания этого факта, то ли под влиянием фальсифицированного, якобы отрицательного отношения (уже престарелого) Маха к общей теории относительности, но спустя некоторое время он изменил свое отношение к идеям Маха. Он писал: «По мнению Маха, в действительно рациональной теории инертность должна, подобно другим ньютонаовским силам, происходить от взаимодействия масс. Это мнение я в принципе считал правильным. Оно неявным образом предполагает, однако, что теория, на которой все основано, должна принадлежать тому же общему типу, как и ньютона механика: основными понятиями в ней должны служить массы и взаимодействия между ними. Между тем не трудно видеть, что такая

попытка не вяжется с духом теории поля» [210, с. 268]. Скорее всего именно в этом состояло главное: эйнштейновская общая теория относительности оказалась построенной в духе традиционной теории поля (концепции близкодействия), тогда как Э. Мах мыслил в духе концепции дальнодействия.

В дальнейшем было показано, что теория гравитации так же, как и теория электромагнетизма, может быть сформулирована в рамках теории прямого межчастичного взаимодействия. Это было сделано в работах Я. И. Грановского и А. А. Пантошина [48] и далее исследовалась многими другими авторами (см. [28]). Для описания гравитационных взаимодействий нужно видоизменить вид действия (13.3.3) в принципе Фоккера для случая электромагнетизма, введя вместо токов взаимодействующих частиц их тензоры энергии-импульса, т. е. произведения масс m_i на квадраты их скоростей u^μ :

$$\begin{aligned} S_{int}^{(g)}(1, 2) = & G \frac{m_1 m_2}{c} \int \int u_{(1)}^\mu u_{(1)}^\nu (\eta_{\mu\alpha}\eta_{\nu\beta} + \eta_{\mu\beta}\eta_{\nu\alpha} - \eta_{\mu\nu}\eta_{\alpha\beta}) \times \\ & \times u_{(2)}^\alpha u_{(2)}^\beta \delta(s^2(1, 2)) ds_1 ds_2. \end{aligned} \quad (13.6.1)$$

Действие для системы гравитационно взаимодействующих частиц на фоне плоского пространства-времени записывается в виде (13.3.2), куда входят все взаимодействующие частицы и их парные комбинации.

Выделяя одну частицу с номером i , легко убедиться, что ее действие представляется в форме

$$S_i^{(g)} = -cm_i \int \left(1 - G \overset{0}{h}_{\mu\nu}(i) u_{(i)}^\mu u_{(i)}^\nu \right) ds_i, \quad (13.6.2)$$

где использовано обозначение для потенциалов гравитационного воздействия на частицу i со стороны частицы j

$$\overset{0}{h}_{\mu\nu}(i, j) = \frac{m_j}{2c^2} \int \delta(s^2(i, j)) (\eta_{\mu\alpha}\eta_{\nu\beta} + \eta_{\mu\beta}\eta_{\nu\alpha} - \eta_{\mu\nu}\eta_{\alpha\beta}) u_{(j)}^\alpha u_{(j)}^\beta ds_j, \quad (13.6.3)$$

а также выражение для суммарного вклада $\overset{0}{h}_{\mu\nu}(i) = \sum_{j \neq i} \overset{0}{h}_{\mu\nu}(i, j)$ от всех частиц в месте нахождения частицы i .

Из действия (13.6.2) стандартными методами можно получить уравнения движения частицы i , которые можно представить в форме уравнения геодезической линии в специально подобранной метрике Риманова пространства-времени (в первом порядке по G). Можно также показать, что в первом порядке по G тождественно выполняются соотношения, соответствующие линеаризованным уравнениям Эйнштейна.

Следует подчеркнуть, что прямое обобщение принципа Фоккера на случай гравитации приводит к приближенной эйнштейновской теории

гравитации — в первом порядке разложения в ряды по гравитационной константе G . Но и этого оказалось достаточным для анализа приближенных уравнений движения сложных систем гравитирующих частиц, что было выполнено в группе К. А. Пирагаса и В. И. Жданова [132].

Для получения теории прямого межчастичного гравитационного взаимодействия, соответствующей эйнштейновской общей теории относительности, необходимо ввести в принцип действия Фоккера слагаемые более высоких порядков по G (см. [28]), т. е. к двухточечным выражениям (отношениям) теории Фоккера следует добавить трехточечные, четырехточечные и т. д. (многоточечные) слагаемые (в духе многоточечной геометрии В. Я. Скоробогатько [153]). Таким образом, во 2-й половине XX в. стало ясно, что можно было прийти к общей теории относительности и в рамках концепции дальнодействия, т. е. А. Эйнштейн напрасно поторопился отречься в 1919 г. от идей Э. Маха. Совершенно необязательно теория должна «вязаться с духом теории поля».

13.7. Объединение гравитации и электромагнетизма

На теорию прямого межчастичного электромагнитного и гравитационного взаимодействий (вместе с принципом Маха) можно взглянуть с позиций общих принципов реляционного подхода, которые позволяют вскрыть внутреннее единство гравитации и электромагнетизма.

13.7.1. Электромагнетизм

1. Чтобы показать связь гравитации и электромагнетизма, сначала построим упрощенную модель электромагнитных взаимодействий заряженных макротел. Положим, что тела состоят из идеализированных микрочастиц с одинаковыми по модулю зарядами. Постулируем, что для событий с идеализированными микрочастицами кроме закона пространственно-временных отношений (12.3.2) имеет место второй закон вида.

$$\Phi_{(5)} = \begin{vmatrix} \tilde{e}^2 & \tilde{u}_{ik} & \tilde{u}_{ij} & \tilde{u}_{is} & \tilde{u}_{il} \\ \tilde{u}_{ki} & \tilde{e}^2 & \tilde{u}_{kj} & \tilde{u}_{ks} & \tilde{u}_{kl} \\ \tilde{u}_{ji} & \tilde{u}_{jk} & \tilde{e}^2 & \tilde{u}_{js} & \tilde{u}_{jl} \\ \tilde{u}_{si} & \tilde{u}_{sk} & \tilde{u}_{sj} & \tilde{e}^2 & \tilde{u}_{sl} \\ \tilde{u}_{li} & \tilde{u}_{lk} & \tilde{u}_{lj} & \tilde{u}_{ls} & \tilde{e}^2 \end{vmatrix} = 0. \quad (13.7.1)$$

От этого выражения можно перейти к определителю с единицами на главной диагонали посредством конформного преобразования всех параметров элементов. В таком случае закон (13.7.1) совпадает с (12.6.6),

т. е. определяет 3-мерную геометрию Лобачевского, физически интерпретируемую как пространство скоростей.

Парные отношения в (13.7.1), согласно (12.6.8), представляются в виде скалярного произведения 4-мерных векторов, нормированных на универсальную константу: $\tilde{u}_{(i)}^\mu \tilde{u}_{(i)\mu} = \tilde{e}_{(i)}^2$. Закон (13.7.1) можно трактовать как равенство нулю определителя Грама для 5 элементов, описываемых равными по длине 4-мерными векторами. Заметим, что в скалярном произведении следует взять сигнатуру, соответствующую сигнатуре пространственно-временных отношений (12.3.4).

2. Конформные факторы разных элементов $\tilde{e}_{(i)}$ в (13.7.1) могут отличаться друг от друга лишь знаком. Предлагается их интерпретировать (с точностью до размерного множителя) как электрические заряды элементарных микрочастиц, тогда

$$\tilde{u}_{ik} = \tilde{e}_i \tilde{e}_k u_{(i)}^\mu u_{(k)\mu}. \quad (13.7.2)$$

Таким образом, теперь парное отношение \tilde{u}_{ik} уже принимает не кинематический, а динамический характер.

Легко видеть, что парное отношение \tilde{u}_{ik} входит в подынтегральное выражение (13.3.3) для парного электромагнитного взаимодействия двух частиц, представляя вклад от второй обобщенной физической категории реляционного подхода. Однако имеется существенное отличие в значениях зарядов взаимодействующих частиц. Выражение в (13.3.3) записано для классических частиц с произвольными зарядами q_i , тогда как в (13.7.2) входят одинаковые по модулю заряды \tilde{e}_i идеализированных микрочастиц.

3. Чтобы получить в классическом принципе Фоккера произвольные заряды макротел, перейдем от отношений между отдельными микрочастицами к суммам парных отношений элементарных частиц, составляющих два макрообъекта *A* и *B*. Поскольку достаточно разнесенные макрообъекты приближенно можно считать точечными (в классическом смысле), то все составляющие их идеализированные микрочастицы полагаются имеющими одинаковые скорости и одинаковые парные пространственно-временные отношения. Это значит, что при суммировании можно вынести за скобки скалярные произведения скоростей частиц и дельта-функцию, тогда процедура перехода к макрообъектам сводится к суммированию по зарядам микрочастиц, составляющих эти объекты. Так приходим к зарядам двух макрообъектов:

$$\tilde{q}_A = \sum_{(i \in A)} \tilde{e}_i; \quad \tilde{q}_B = \sum_{(k \in B)} \tilde{e}_k. \quad (13.7.3)$$

Переходя от безразмерных зарядов \tilde{e} к известным элементарным зарядам электрона $e = \sqrt{\hbar c |\tilde{e}|}$ через размерные универсальные константы,

получаем ранее записанное выражение для действия электромагнитного взаимодействия двух классических заряженных частиц.

13.7.2. Гравитация как следствие электромагнетизма

1. Исходя из закона (13.7.1), можно получить и гравитационное взаимодействие, ранее представленное действием (13.6.1). Для этого следует воспользоваться принципом, сформулированным в рамках пространственно-временных отношений, согласно которому обладают физическим смыслом все миноры из определителя, через который сформулирован закон системы отношений. В данном случае это будет определитель из закона токовых отношений (13.7.1). Как только что было показано, миноры минимального порядка характеризуют парные электромагнитные взаимодействия. Рассмотрим физический смысл миноров более высокого порядка.

Линеаризованное гравитационное взаимодействие обусловлено учетом *диагональных* миноров следующего, второго порядка в определителе закона (13.7.1). Так, для двух частиц, описываемых элементами i и k , можно определить парное отношение:

$$D_{ik}^{(2)} = \begin{vmatrix} \tilde{e}^2 & \tilde{u}_{ik} \\ \tilde{u}_{ki} & \tilde{e}^2 \end{vmatrix} = \tilde{e}^4 (1 - u_{ik} u_{ki}) = \\ = -\frac{\tilde{e}^4}{2} u_{(i)}^\mu u_{(i)}^\nu (\eta_{\mu\alpha} \eta_{\nu\beta} + \eta_{\mu\beta} \eta_{\nu\alpha} - 2\eta_{\mu\nu} \eta_{\alpha\beta}) u_{(k)}^\alpha u_{(k)}^\beta, \quad (13.7.4)$$

где $\eta_{\mu\nu}$ — опять метрический тензор пространства Минковского. Легко видеть, что (13.7.4) (с некоторыми оговорками) представляет собой парное отношение двух гравитационно взаимодействующих частиц в подинтегральном выражении (13.6.1).

Поскольку здесь по-прежнему рассматриваются парные отношения двух элементов, то в выражении для гравитационного взаимодействия следует ожидать прежнее выражение для координатного парного отношения в виде дельта-функции (13.3.4).

2. Поскольку теперь конформный фактор (электрический заряд) дает квадратичный вклад в множители перед скалярными произведениями скоростей, то эти множители могут принимать лишь положительные значения, в отличие от электрических зарядов в минорах первого порядка. Очевидно, они могут соответствовать лишь значениям масс идеализированных микрочастиц.

Выразим значение массы частиц через безразмерную константу C_2 , имеющую характер весового соотношения миноров первого и второго порядков в действии, и размерные фундаментальные константы. Поскольку прообраз гравитационного действия должен быть пропорциональным произведению масс и ньютоновой гравитационной постоянной G , то при сделанном выводе о связи зарядов и масс имеем

$G(m_1 m_2)/c = C_2 e^4/(\hbar c^2)$. Полагая массы идеализированных микрочастиц одинаковыми, отсюда находим

$$m = \frac{\sqrt{C_2} e^2}{\sqrt{G \hbar c}} = \sqrt{C_2} \left(\frac{e^2}{\hbar c} \right) \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} = \sqrt{C_2} \gamma_o m_P, \quad (13.7.5)$$

где $m_P \simeq 10^{-5}$ г — планковская масса, γ_o — постоянная тонкой структуры.

Таким образом, в данном подходе масса идеализированных микрочастиц определяется произведением постоянной тонкой структуры, планковской массы и квадратного корня из безразмерного весового вклада C_2 . Выбором значения весового коэффициента можно добиться любого значения массы идеализированной микрочастицы. Для случая нуклона следует положить $C_2 \simeq 10^{-36}$. Следовательно, весовой коэффициент C_2 играет роль перенормирующего фактора, переводящего значение планковской массы в наблюдаемое значение. Это аналогично процедуре перенормировки планковских масс в многомерных геометрических моделях физических взаимодействий типа теории Калуцы.

Масса макротела должна рассматриваться как сумма масс составляющих тело микрочастиц (элементов), т. е., как и в случае электромагнитного взаимодействия, имеем

$$q_A = \sum_{(i \in A)} e_i \leftrightarrow m_A = \sqrt{\frac{C_2}{G \hbar c}} \sum_{(i \in A)} e_i^2. \quad (13.7.6)$$

Сумма квадратов, как известно, существенно отличается от квадрата суммы слагаемых, т. е. масса макротела всегда положительна и отлична от нуля даже в случае электрически нейтральных тел. В итоге имеем прообраз гравитационного действия (13.6.1).

3. Обратимся к слагаемым $S^{(0)}(i)$ в (13.3.2), описывающим действие «свободных» частиц. В данном подходе они получаются из слагаемых в минорах второго порядка, содержащих квадраты скоростей каждой частицы. «Свободное» действие одной из частиц можно получить из таких слагаемых суммированием по всем вторым частицам окружающего мира. Так, взяв из (13.7.4) половину последнего слагаемого (без скоростей), можно записать

$$S^{(0)}(i) = cm_i \int ds_i = -\frac{G m_i}{c} \sum_{k \neq i} m_k \int \int \delta(s^2(i, k)) ds_i ds_k, \quad (13.7.7)$$

т. е. получается так, что сумма вкладов всех масс частиц окружающего мира определяет гравитационную константу:

$$\sum_{k \neq i} m_k \int \delta(s^2(i, k)) ds_k = \frac{c^2}{G}. \quad (13.7.8)$$

Учитывая, что в определение δ -функции неявно входит расстояние между выделенной и рассматриваемой частицами, это выражение можно рассматривать как обобщение известного соотношения между значением массы M и гравитационным радиусом Вселенной R_g в общей теории относительности

$$\sum_{k \neq i} m_k \int \delta(s^2(i, k)) ds_k \equiv \frac{2M}{R_g} = \frac{c^2}{G} \rightarrow R_g = \frac{2MG}{c^2}. \quad (13.7.9)$$

Данное соотношение в реляционном подходе следует трактовать как обусловленность лагранжиана «свободных» частиц их взаимодействием со всеми частицами окружающего мира (Вселенной) в духе принципа Маха. В реляционном подходе нет и не может быть свободных частиц по определению. «Свободная» часть в действии представляет собой лишь завуалированное суммированием взаимодействие выделенной частицы со всем окружающим миром.

Выражение (13.7.7) обосновывает не только появление действия «свободных» частиц, но и объясняет отличие в коэффициентах перед последними слагаемыми в (13.6.1) и (13.7.4).

4. Данные рассуждения касаются некой упрощенной (идеализированной) модели, которая может претендовать лишь на вскрытие закономерностей качественного характера. В рамках этой модели все элементарные частицы имеют одинаковые массы, жестко связанные со значением элементарного электрического заряда (электрона). Это допустимо при рассмотрении классической теории, где несущественные детальные свойства составляющих их микрочастей, однако для построения реалистической теории элементарных частиц необходимо обобщить теорию на случай, во-первых, комплексных отношений и, во-вторых, на случай бинарных систем отношений, что обсуждено в следующей главе.

13.7.3. Принцип Маха и прямые многочастичные взаимодействия

Пока были задействованы лишь два простейших вида миноров первого и второго порядков. Рассмотрим оставшиеся миноры более высокого порядка.

1. Из определителя в законе (13.7.1) можно построить несколько видов миноров: три вида миноров второго порядка, три вида миноров третьего порядка и два минора четвертого порядка, которые, как оказывается, имеют чёткую физическую интерпретацию и играют важную роль в описании классических электромагнитных и гравитационных взаимодействий.

Выпишем в виде таблицы все названные миноры, начиная с первого порядка:

Гравитация	Электромагнетизм	Принцип Маха
$\tilde{e}^2 = e^2/(hc) = Const$	\tilde{u}_{ik}	0
$D_{ik}^{(2)} = \begin{vmatrix} \tilde{e}_i^2 & \tilde{u}_{ik} \\ \tilde{u}_{ki} & \tilde{e}_k^2 \end{vmatrix}$	$D_{ik,j}^{(2)} = \begin{vmatrix} \tilde{u}_{ki} & \tilde{u}_{kj} \\ \tilde{u}_{ji} & \tilde{e}_j^2 \end{vmatrix}$	$D_{ikjs}^{(2)} = \begin{vmatrix} \tilde{u}_{ij} & \tilde{u}_{is} \\ \tilde{u}_{kj} & \tilde{u}_{ks} \end{vmatrix}$
$D_{ikj}^{(3)} = \begin{vmatrix} \tilde{e}_i^2 & \tilde{u}_{ik} & \tilde{u}_{ij} \\ \tilde{u}_{ki} & \tilde{e}_k^2 & \tilde{u}_{kj} \\ \tilde{u}_{ji} & \tilde{u}_{jk} & \tilde{e}_j^2 \end{vmatrix}$	$D_{ik,js}^{(3)} = \begin{vmatrix} \tilde{u}_{ik} & \tilde{u}_{ij} & \tilde{u}_{is} \\ \tilde{u}_{jk} & \tilde{e}_j^2 & \tilde{u}_{js} \\ \tilde{u}_{sk} & \tilde{u}_{sj} & \tilde{e}_s^2 \end{vmatrix}$	$D_{ikjs,l}^{(3)} = \begin{vmatrix} \tilde{u}_{ij} & \tilde{u}_{is} & \tilde{u}_{il} \\ \tilde{u}_{kj} & \tilde{u}_{ks} & \tilde{u}_{kl} \\ \tilde{u}_{lj} & \tilde{u}_{ls} & \tilde{e}_l^2 \end{vmatrix}$
$D_{ikjs}^{(4)} = \begin{vmatrix} \tilde{e}_i^2 & \tilde{u}_{ik} & \tilde{u}_{ij} & \tilde{u}_{is} \\ \tilde{u}_{ki} & \tilde{e}_k^2 & \tilde{u}_{kj} & \tilde{u}_{ks} \\ \tilde{u}_{ji} & \tilde{u}_{jk} & \tilde{e}_j^2 & \tilde{u}_{js} \\ \tilde{u}_{si} & \tilde{u}_{sk} & \tilde{u}_{sj} & \tilde{e}_s^2 \end{vmatrix}$	$D_{ik,jsl}^{(4)} = \begin{vmatrix} \tilde{u}_{ik} & \tilde{u}_{ij} & \tilde{u}_{is} & \tilde{u}_{il} \\ \tilde{u}_{jk} & \tilde{e}_j^2 & \tilde{u}_{js} & \tilde{u}_{jl} \\ \tilde{u}_{sk} & \tilde{u}_{sj} & \tilde{e}_s^2 & \tilde{u}_{sl} \\ \tilde{u}_{lk} & \tilde{u}_{lj} & \tilde{u}_{ls} & \tilde{e}_l^2 \end{vmatrix}$	0 (13.7.10)

Здесь верхний слева элемент \tilde{e}^2 выписан для полноты представленных здесь миноров.

2. Два минора \tilde{u}_{ik} и $D_{ik}^{(2)}$ в левом верхнем углу таблицы описывают двухчастичные взаимодействия. Два минора: $D_{ik,j}^{(2)}$ и $D_{ikj}^{(3)}$, расположенные наискосок правее и ниже двух названных, описывают трехчастичные взаимодействия. Три минора $D_{ikjs}^{(2)}$, $D_{ik,js}^{(3)}$ и $D_{ikjs}^{(4)}$, расположенные по диагонали, описывают четырехчастичные взаимодействия. Наконец, два оставшихся минора $D_{iksl,j}^{(3)}$ и $D_{ik,jsl}^{(4)}$ в правом нижнем углу описывают пятивзаимодействия. В обозначениях частиц запятая отделяет электромагнитно взаимодействующие частицы от частиц, оказывающих на них гравитационное воздействие.

3. В выписанной таблице сверху дана физическая интерпретация трех столбцов миноров. Первый столбец характеризует гравитационное взаимодействие двух, трех и четырех частиц. Миноры второго столбца описывают электромагнитное взаимодействие двух частиц и гравитационное влияние на электромагнитное взаимодействие двух частиц со стороны других (третьих и четвертых) частиц. Миноры третьего столбца описывают электромагнитное (и частично гравитационное) влияние на электромагнитно взаимодействующую пару (и четверку) частиц.

Отличие электромагнитных от гравитационных взаимодействий фактически определяется числом диагональных элементов вида \tilde{e}^2 , входящих в соответствующие миноры. Если число диагональных элементов совпадает с числом элементов, представленных в миноре, то данный минор описывает вклады только в гравитационное взаимодействие. Это имеет место для миноров первого столбца. В минорах \tilde{u}_{ik} и $D_{ikjs}^{(2)}$ названные диагональные элементы отсутствуют, следовательно, данные

миноры описывают чисто электромагнитные взаимодействия. Во всех остальных минорах представлены как электромагнитные, так и гравитационные взаимодействия.

Влияние третьих частиц на взаимодействие рассматриваемой пары частиц в литературе принято трактовать как проявления принципа Маха. Строго говоря, принципу Маха соответствуют все трех-, четырех- и пятичастичные взаимодействия, однако значительная часть проявлений принципа Маха маскируется нелинейностью гравитационного взаимодействия (в общей теории относительности). По этой причине лишь миноры третьего столбца отнесены к явному проявлению принципа Маха.

4. Прообраз действия многочастичных взаимодействий, как и прежде, строится в виде произведения вкладов от миноров из пространства токов (скоростей) и из пространственно-временных отношений. Последние должны иметь характер соответствующих n -точечных отношений. Так, ранее для описания двухчастичных взаимодействий использовались парные отношения из двух пространств, что означало одинаковые выражения в виде дельта-функции при разных порядках миноров из токового пространства. Для описании трех- и более частичных взаимодействий необходимо использовать соответствующие многоточечные характеристики из пространственно-временных отношений, которые оказываются в парах с минорами разных рангов. Кроме того, необходимо уточнение коэффициентов перед указанными минорами при построении полного действия (см. [36]).

13.8. Анализ и сравнение реляционного и иных миропониманий

Изложенное в этой главе показывает, что в рамках теории прямого межчастичного взаимодействия (в иной метафизической парадигме) можно на другом языке изложить основные результаты, полученные в рамках ранее рассмотренных миропониманий. Более того, можно утверждать, что теория прямого межчастичного взаимодействия больше отвечает духу специальной теории относительности, нежели концепция близкодействия. Взаимодействие на световом конусе соответствует нулевому интервалу, т. е. непосредственному контакту в релятивистском смысле.

13.8.1. Три вида соотношений гравитации и электромагнетизма

1. В теориях трех дуалистических миропониманий (парадигм) соотношение гравитации и электромагнетизма имеет принципиально раз-

личный характер. В теоретико-полевом подходе гравитационное и электромагнитное поля независимы и выступают на равной ноге, отличаясь лишь тензорным рангом потенциалов поля. В геометрическом подходе (в 5-мерной теории Калуцы) электромагнетизм возникает в результате обобщения эйнштейновской теории гравитации на случай 5-мерия. В реляционном подходе имеет место третий вариант — гравитация возникает в виде квадрата электромагнитного взаимодействия, т. е. приобретает индуцированный характер.

2. Близкие предположения и гипотезы о характере гравитации высказывались рядом известных авторов, исходя из совсем иных соображений. Так, в 1967 г. А. Д. Сахаров высказал идею о вторичном, производном характере искривленности пространства-времени, об обусловленности гравитации свойствами квантованных (фермионных) полей. Он писал: «По моей идее фундаментальный вид уравнений теории тяготения (т. е. общей теории относительности), а также численная величина гравитационной постоянной — должны следовать из теории элементарных частиц «сами собой», без каких-либо специальных гипотез» [150, с. 180].

Аналогичная гипотеза высказывалась П. Уэстом в связи с обсуждением возможности суперсимметричных теорий «объединить тяготение со всеми другими силами природы»: «Но в этой связи следует напомнить, что гравитация может оказаться не фундаментальной силой, а быть обусловленной динамическим механизмом» [167, с. 14]. Можно и далее продолжить цитирование подобных высказываний С. Л. Адлера и других авторов, соответствующих изложенному здесь выводу об индуцированном характере гравитации.

3. Следы связи гравитации и электромагнетизма, вскрытой в реляционном подходе, можно усмотреть уже в 5-мерной теории Калуцы, где четыре смешанные компоненты метрического тензора $G_{\mu 5}$ отождествляются с компонентами векторного потенциала электромагнитного поля A_μ соотношением (10.2.2), а физически интерпретируемыми компонентами 4-мерной метрики являются не просто 4-мерные части 5-мерного метрического тензора $G_{\mu\nu}$, а специальные комбинации из них и смешанных компонент:

$$g_{\mu\nu} = G_{\mu\nu} - \frac{G_{\mu 5} G_{\nu 5}}{G_{55}} \rightarrow g_{\mu\nu} = G_{\mu\nu} - \frac{4G}{c^4} A_\mu A_\nu, \quad (13.8.1)$$

вводимые на основе монадного метода в специальной калибровке. В это выражение входит квадратично электромагнитный векторный потенциал, что частично соответствует дополнительным квадратичным слагаемым по скоростям в определении компонент 4-мерной метрики в реляционном подходе, согласно (13.6.1) и (13.7.4).

Однако в 5-мерной теории Калуцы гравитационное и электромагнитное взаимодействия трактуются независимыми вследствие слагаемого

$G_{\mu\nu}$ в (13.8.1). Реляционный же подход позволяет устраниТЬ независимость, раскрывая физический смысл этого слагаемого: в нем компоненты $G_{\mu\nu}$ трактуются как комбинация из метрики Минковского $\eta_{\mu\nu}$ и слагаемых, обусловленных тем, что квадрат суммы вкладов от разных частиц в электромагнитный потенциал не равен сумме квадратов этих вкладов, обуславливающих гравитационное взаимодействие в реляционном подходе.

4. В 5-мерной теории Калуцы для описания заряженных полей Ψ используется принцип зависимости волновых функций этих полей от 5-й координаты, причем циклическим образом, согласно (10.2.7). Как уже отмечалось, это определение заряда автоматически приводит к появлению у частиц планковских значений масс элементарных частиц, т. е. масса частиц оказывается жестко связанной с их электрическим зарядом: $m = e/(2\sqrt{G})$, причем линейно, в отличие от определения масс квадратично, согласно (13.7.5), в реляционной теории. В теории Калуцы необходимы методы перенормировки планковской массы до наблюдаемых значений масс частиц. Это достигается при помощи конформных факторов в метрике.

В реляционном подходе, несмотря на иной, квадратичный характер соотношения масс и зарядов, фактически возникает та же проблема перенормировки планковских масс, которая решается введением в (13.7.5) константы C_2 , связывающей между собой миноры первого и второго порядка при записи суммарного действия.

5. Другой вывод принципиального характера состоит в том, что как электромагнитные, так и гравитационные взаимодействия определяются конечным числом миноров из определителя в законе токового пространства (13.7.1). Все эти слагаемые имеют четкую физическую интерпретацию. Данный вывод нуждается в сопоставлении с ранее полученным результатом [4], что общая теория относительности может быть переформулирована в виде теории прямого межчастичного взаимодействия с обобщенным принципом Фоккера, в котором учитываются не только парные взаимодействия, приводящие к линеаризованной теории, но и слагаемые, описывающие тройные, четверные и т. д. взаимодействия. Было показано, что ОТО может быть представлена в виде бесконечного ряда разложения по гравитационной константе G . В данном же общем реляционном подходе гравитационное взаимодействие описывается конечным числом слагаемых (четырьмя минорами в табл. (13.7.10)). Исходя из этого, можно ожидать, что следствия (в том числе и экспериментальные) предлагаемой теории будут отличаться от выводов эйнштейновской общей теории относительности.

13.8.2. Метафизический анализ реляционной парадигмы

1. Реляционное миропонимание опирается на две обобщенные категории: токовых и пространственно-временных отношений, которые двояким образом объединяют в себе прежние категории пространства-времени и частиц. Строго говоря, в теории этой парадигмы нет ни априорно заданного классического пространства-времени, ни полей переносчиков взаимодействий. Последние становятся бессмысленными ввиду отсутствия фона, на котором они должны определяться. По этой причине будем считать, что это миропонимание характеризуется отсутствием именно категории пространства-времени.

Обобщенный характер двух категорий реляционного миропонимания обусловил трудности их осмыслиения. Аналогичным образом обстояло дело с обобщенной категорией поля амплитуды вероятности (в теоретико-полевом миропонимании) и с обобщенной категорией искривленного пространства-времени (в геометрическом миропонимании). Достаточно напомнить дискуссии, связанные с выбором концепции дальнодействия.

2. Для дуалистической реляционной парадигмы фрактальность по сущности (количеству) представлена табл. (13.8.2).

Реляционное миропонимание: фрактальность по сущности

	Пространство-время	Поля	Частицы
Пространство-время	↓ ↓	↓ ↓	↓ ↓
Категория токовых отношений	Совокупность всех парных отношений	Отношение как вещественное число	Аргумент – пара элементов УСВО ранга (5)
Пространственно-временные отношения	Совокупность всех парных отношений	Отношение как вещественное число	Аргумент – пара элементов УСВО ранга (6,а)

(13.8.2)

Первое существенное отличие приведенной таблицы от аналогичных (в теоретико-полевой и геометрической парадигмах) состоит в том, что в ней пустой является первая строка, соответствующая исходной категории пространства-времени, которая теперь включена в обобщенные категории токовых и пространственно-временных отношений, занимающих вторую и третью строки таблицы.

Вторая важная особенность данной таблицы состоит в том, что две обобщенные категории данного миропонимания оказываются одинаковыми по своей сущности, т. е. единообразно описываются парными вещественными отношениями на одном множестве элементов. При этом

существенен учет отношений не только избранной пары элементов, но и с элементами всего окружающего мира. Различие состоит лишь в разном ранге: невырожденном ранге (5) для токовых отношений и вырожденный ранг (6;а) для пространственно-временных отношений. В этом смысле фрактальность по сущности в данном случае можно назвать фрактальностью по количеству.

3. Фрактальность по качеству в данной парадигме может быть представлена табл. (13.8.3).

Реляционное миропонимание: фрактальность по качеству

	Пространство-время	Поля	Частицы
Пространство-время	↓↓	↓↓	↓↓
Категория токовых отношений	Гравитационное взаимодействие	Электромагнитное взаимодействие	Принцип Маха
Категория парных отношений	Вырожденная УСВО ранга (6;а)	Хроногеометрия как УСВО ранга (3;а)	Невырожденная УСВО ранга (4)

(13.8.3)

В данной таблице также отсутствует первая строка, соответствующая категории априорно заданного классического пространства-времени.

Во второй строке указаны три вида проявлений во взаимодействиях, описываемых токовыми отношениями: электромагнитные, гравитационные и влияния со стороны окружающего мира, трактуемые как принцип Маха. Заметим, что порядок трех ячеек условен. Три ячейки обозначены так же, как и в таблицах гл. 4, причем в них указан смысл миноров различных порядков, образованных из определителя в законе токовых отношений. Ячейки, соответствующие гравитационному взаимодействию и принципу Маха, можно было бы переставить друг с другом, поскольку, строго говоря, в реляционном подходе принцип Маха охватывает и гравитационные взаимодействия.

В третьей строке названа как УСВО ранга (6;а), характеризующая пространственно-временные отношения, так и две УСВО рангов (3;а) и (4), из которых можно скомпоновать итоговую УСВО ранга (6;а). Во второй ячейке, соответствующей колонке поля, указана УСВО ранга (3;а), через которую описывается хроногеометрия. Как неоднократно отмечалось, хроногеометрия опирается на передачу электромагнитных взаимодействий вдоль изотропных конусов. В третьей ячейке указана УСВО ранга (4), описывающая угловые координаты, которые допол-

няют хроногеометрическое задание двух координат до наблюдаемого 4-мерия.

4. Принципиально важным моментом теории Фоккера—Фейнмана является исключение из числа первичных понятий категории полей переносчиков взаимодействий. Их роль берут на себя пространство-время и характеристики частиц. Это относится как к классическим, так и к квантовым аспектам теории. В рамках этой парадигмы *категория поля принимает такой же фиктивный характер, как флогистон, теплород или эфир в былье времена*.

5. В теории прямого межчастичного взаимодействия отражается идея о целостности мира и всеобщей связи всех явлений в нем, что принято называть принципом Маха. Многие понятия, трактуемые в теории поля как внутренние характеристики (свойства) частиц, в данной парадигме объясняются через глобальные свойства Вселенной.

Особо следует подчеркнуть, что в теории Фоккера—Фейнмана *принципиально отсутствует понятие вакуума* — хрустальной мечты и звездной цели исследований многих сторонников теоретико-полевого миропонимания. Вместо вакуума и связанных с ним локальных флуктуаций поля выступает влияние всей окружающей материи Вселенной. В этой связи хотелось бы обратить внимание на работы С. Э. Шноля, в которых отмечается влияние космических факторов на локальные явления в виде радиоактивных распадов или химических реакций [197].

В связи с дискуссией о выполнимости принципа Маха в ОТО или в теории поля следует отметить, что принцип Маха присущ именно реалистическому миропониманию, точно так же как калибровочный принцип соответствует лишь теоретико-полевому подходу.

13.8.3. Выводы из сравнения дуалистических метафизических парадигм

Сопоставляя описания взаимодействий в разных метафизических парадигмах, сформулируем ряд принципиальных следствий, некоторые из которых можно возвести в ранг принципов.

1. Прежде всего, следует дополнить дефиницию **принципа фрактальности**, включив в нее положение о проявлении троичности (триединства) в представлениях не только о простых (исходных), но и в обобщенных категориях, поскольку в каждой из них можно выделить три составляющие (стороны), соответствующие основополагающим категориям триалистической парадигмы.

Метафизический принцип тринитарности проявляется не только в количестве исходных категорий или дуалистических парадигм, рассмотренных в книге, но и в трех видах редукционизма: по сущности, по качеству и по количеству, что позволяет говорить о некой связи видов

редукционизма с числом исходных категорий. Так, идея построения теорий геометрического миропонимания (геометрофизики) возникла в рамках редукционистского подхода по качеству при попытке геометризации вслед за гравитационным всех других физических полей. Реляционное миропонимание опирается на счет и сопоставление количеств событий, т. е. можно сказать, что реляционное миропонимание наиболее тесно связано с редукционизмом по количеству.

2. Принцип консонанса дуалистических парадигм. При сравнении метафизических парадигм на основе принципа фрактальности проявляется их удивительное созвучие. В каждой из трех представленных дуалистических парадигм оказывается исключенной по одной из категорий. (В приведенных таблицах *дуалистической теоретико-полевой парадигмы* пустыми остаются трети строки, соответствующие категории частиц. В таблицах *дуалистической геометрической парадигмы* пустыми оказываются вторые строки, соотносимые с потерявшей самостоятельный статус категории (бозонных) полей переносчиков взаимодействий. В таблицах *дуалистической реляционной парадигмы* (13.8.1) и (13.8.3) не заполнены первые строки, которые соответствуют категории пространства-времени.)

Примечательно, что во всех таблицах, иллюстрирующих фрактальность по сущности и качеству, выделялся один из столбцов, соответствующий категориям, которые исключались в этих парадигмах. Так, в *дуалистической геометрической парадигме* оказалась выделенной метрика (метрический тензор), фактически выполняющая в ней роль полей переносчиков взаимодействий, а в *дуалистической теоретико-полевой парадигме* — подкатегория фермионных полей, соответствующая исключенной категории частиц. Что же касается *дуалистической реляционной парадигмы*, то в ней доминирующую роль играют ячейки первого столбца, которые в данной парадигме соотносятся с ролью категории пространства-времени. В итоге оказались последовательно выделенными составляющие, соответствующие всем трем исходным категориям (столбцам).

Следует также отметить то обстоятельство, что между числовыми характеристиками во всех трех дуалистических парадигмах наблюдается соответствие. В *геометрической парадигме* числовой характеристики является размерность n используемого многомерного многообразия. В *теоретико-полевой парадигме* таковой является либо размерность s группы внутренних симметрий $SU(s)$, либо N , определяющее число комплектов гравитационных переменных, а в *реляционной парадигме* эту роль выполняет ранг t используемых систем отношений.

3. Принцип дополнительности метафизических парадигм фактически обобщает известный принцип дополнительности Н. Бора, который был сформулирован для интерпретации квантовой механики,

а затем возведен в ранг общефилософского принципа. В контексте рассматриваемой проблематики это означает, что **метафизические парадигмы не противоречат, а дополняют друг друга, представляют собой видение одной и той же физической реальности под разными углами зрения**. И подобно тому, как в 3-мерном пространстве полное представление об объемном объекте достигается благодаря изображению его проекции на три взаимно перпендикулярные плоскости, достаточно полное представление о физической реальности приобретается лишь на основе совокупности теорий из трех разных метафизических парадигм.

Сопоставительный анализ физического мира в рассмотренных парадигмах показывает, насколько различны мировосприятия в рамках каждой из них. То, что хорошо просматривается и необходимо в русле одной из них, может оказаться не замеченным в теориях иной парадигмы. Например, принцип Маха не нашел подобающего воплощения в рамках геометрической или теоретико-полевой парадигм, но играет важную роль в теориях реляционной парадигмы. Существование спинорных частиц никак не следует из известных теорий геометрической или (унарной) реляционной парадигм, но оказывается естественным в рамках теоретико-полевой парадигмы.

Все три миропонимания сыграли свою неповторимую роль в создании современной физической картины мира.

4. Принцип целостности состоит в том, что *ни одно утверждение (или формула) в теории редукционистской парадигмы не может претендовать на физическую значимость, если в нем не представлены все категории используемой парадигмы*. Это отражено в ключевых принципах или уравнениях физических теорий, разработанных в русле разных парадигм. В реляционном подходе это принцип Фоккера, в геометрическом миропонимании это уравнения Эйнштейна, а в теоретико-полевом это волновые уравнения.

5. Сопоставительный анализ физических теорий и программ приводит к заключению, что основной тенденцией развития фундаментальной теоретической физики является сокращение числа категорий, т. е. стремление перейти от дуалистических парадигм к монистической. Особого внимания, на наш взгляд, заслуживает идея перехода к монистической парадигме со стороны реляционного миропонимания.

Несмотря на то, что концепция дальнодействия (реляционное миропонимание) долгое время оставалась в стороне от магистрального направления физики, ее влияние на науку очевидно. Выше уже отмечалось, что А. Эйнштейн, создавая общую теорию относительности, мыслил в русле концепции дальнодействия. Другой пример представляют

результаты Р. Фейнмана по квантовой электродинамике, за которые ему в 1965 г. была присуждена Нобелевская премия.

Следуя логике рассуждений, сделаем вывод: **физика XX в. могла бы развиваться на основе концепции прямого межчастичного взаимодействия.** Напомним, что это уже третий возможный путь, если иметь в виду реально осуществившийся путь в рамках теоретико-полевого миропонимания и ранее обсуждавшуюся возможность на основе многомерных геометрических моделей (в рамках геометрического миропонимания).

Этого не случилось из-за ряда обстоятельств как субъективного, так и объективного характера. Видимо, главным был психологический фактор. Исследователям оказался более привычным и естественным способ рассуждений на основе концепции близкодействия, а факторы, которые могли бы заставить их пересмотреть устоявшиеся представления, не оказались в центре внимания.

Во второй половине XX в. исследования в рамках концепции дальнодействия замедлились из-за отсутствия, как отмечали сторонники этого подхода, новых идей как математического, так и физического плана. Дальнейшее развитие реляционного миропонимания неразрывно связано с теорией систем отношений.

Глава 14

Дальнодействие и квантовая механика



До сих пор обсуждался реляционный подход к геометрии и к классической физике. Однако для того, чтобы говорить о реляционном миропонимании в достаточно полном объеме, необходимо его распространить также на квантовомеханические закономерности и вообще на явления физики микромира. Важный шаг в этом направлении был сделан Р. Фейнманом, предложившим специальную формулировку квантовой механики, явившуюся третьей по счету, после более широко известных шредингеровской и гейзенберговской формулировок. В своей основополагающей статье на эту тему он писал: «Теорию электромагнетизма, развитую Уилером и Фейнманом, (...) можно сформулировать в виде принципа наименьшего действия, содержащего только координаты частиц. Именно попытка ироквантовать эту теорию, не обращаясь к представлению о поле, и привела к изложенной здесь формулировке квантовой механики» [168, с. 202].

В настоящее время фейнмановская формулировка известна как метод континуального интегрирования или как метод квантования посредством суммирования по историям (траекториям), причем она используется независимо от реляционных представлений. В этой главе изложены основные идеи и принципы фейнмановского метода квантования, указаны его достоинства, а также названы причины того, что этот метод не привел к укоренению реляционного подхода в физике микромира.

Другой ход мысли в развитии квантовой теории, также соответствующий переходу к концепции дальнодействия, был связан с методом S-матрицы. Идея S-матричного подхода была выдвинута Дж. Уилером и В. Гейзенбергом, и затем в 60-х гг. на ее основе была развита теория S-матрицы, на которую в то время возлагались большие надежды. В этой главе охарактеризована суть этого подхода и главные причины неосуществленности былых ожиданий.

Кроме того, в этой главе указаны идеи, на первый взгляд никак не связанные с квантовой механикой, но тем не менее, как выяснилось впоследствии, подходящие для переформулировки физики микромира

в реляционном духе. Здесь имеется в виду теория бинарных структур или теория бинарных систем (комплексных) отношений, являющаяся прямым обобщением унарных систем вещественных отношений, использованных в предыдущих двух главах.

14.1. Обоснование принципа Гюйгенса в отсутствие полей

Если понятие поля исключить из теории, то сразу же возникает вопрос, каким образом тогда объяснить явления дифракции и интерференции, доставившие в свое время физикам столько проблем и заставившие перейти к волновому описанию частиц? Прежде всего, этот вопрос возникает в связи с исключением из числа первичных понятий электромагнитного поля как переносчика взаимодействий.

В работах Фейнмана дан достаточно убедительный ответ на этот вопрос. Как известно, согласно принципу Гюйгенса, дифракционная картина, возникающая при прохождении света через отверстия в непрозрачном экране, находится из сложения вкладов фиктивных источников света, распределенных в дырках экрана. Как писал Фейнман, «дифрагированная волна выглядит так, как будто источником служит дырка в экране. Мы должны выяснить причину этого явления, ведь на самом деле имению в дырке нет источников, нет никаких зарядов, движущихся с ускорением» [171, с. 98].

Следуя «Фейнмановским лекциям по физике» [171], обсудим явление дифракции света от источника S на непрозрачном экране R с отверстиями K (см. рис. 14.1) с позиций теории прямого межчастичного взаимодействия. Будем называть электромагнитное воздействие источника на возможный поглотитель, как это принято, термином «поле», но только будем его заключать в кавычки¹⁾, которые должны напоминать, что о «поле» можно говорить только в тех местах, где имеется возможный приемник, и его нет в точках пустого пространства. Рассмотрим «поле» в точке P в двух ситуациях: когда отверстия в экране закрыты крышками, так что экран непрозрачен для света, и когда крышки убраны.

- 1. Отверстия в экране закрыты крышками.** Согласно теории прямого межчастичного взаимодействия, «поле» в точке P слагается, во-первых, из «поля» F_S , создаваемого источником S , с некоторым запаздыванием по фазе, и, во-вторых, из переизлученных «полей» F_R и F_K от всех зарядов в экране R и в крышках K . Поскольку экран с крышками непрозрачен для света, то, очевидно,

¹⁾Р. Фейнман в своей Нобелевской лекции называл это «поле» полем Френкеля.

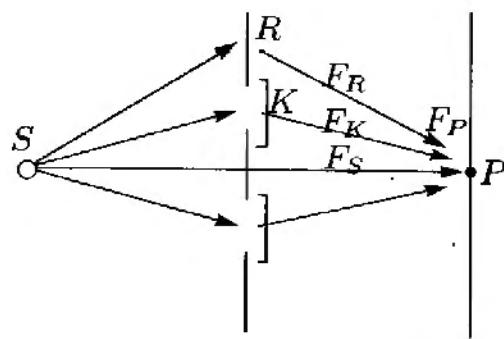


Рис. 14.1. Дифракция света, проходящего через щели в экране

«поле» F_P равно нулю:

$$F_P = F_S + F_R + F_K = 0, \quad (14.1.1)$$

т. е. «поле» источника в точности компенсируется переизлученными «полями» от всех атомов, составляющих экран и крышки.

2. Крышки убраны, т. е. имеет место обычное явление дифракции света на экране с отверстиями. В этом случае «поле» F'_P в точке P отлично от нуля и, согласно общим принципам теории прямого межчастичного взаимодействия, слагается из «поля» F_S источника и переизлученных «поляй» F'_R атомами экрана (макроприбора), т. е. имеем

$$F'_P = F_S + F'_R. \quad (14.1.2)$$

Если отверстия достаточно велики, то можно положить, что переизлученные «поля» от экрана в обоих случаях одинаковы:

$$F_R = F'_R. \quad (14.1.3)$$

Вычитая из (14.1.2) соотношение (14.1.1) при учете (14.1.3), имеем

$$F'_P = (F'_R - F_R) - F_K = -F_K. \quad (14.1.4)$$

Фейнман следующим образом интерпретирует это соотношение: «Мы приходим к выводу, что «поле» в точке P при открытых отверстиях (случай б) равно (с точностью до знака) «полю», создаваемому той частью сплошного экрана, которая находится на месте отверстий! (Знак нас не интересует, поскольку обычно имеют дело с интенсивностью, пропорциональной квадрату поля.) Этот результат не только справедлив (в приближении не очень малых отверстий), но и важен; кроме всего прочего, он подтверждает справедливость обычной теории дифракции» [171, с. 100].

Таким образом, общепринятое объяснение дифракции света на основе принципа Гюйгенса в теории поля соотносится с описанием этого

явления в рамках теории прямого межчастичного взаимодействия как *негатив соотносится с позитивом в фотографии*.

Заметим, что в теории прямого межчастичного взаимодействия Фоккера—Фейнмана частицы (дифрагирующие электроны) принципиально отличаются от дифрагирующих «полей» переносчиков взаимодействий (фотонов), однако ничто не мешает заменить «поля» на понятия *отношений* между рассматриваемым электроном (частицей) и всеми другими частицами, составляющими экран, крышки в отверстиях и частицей (детектором), помещенной в точку P . Если это сделать, то вклады путей электрона через отверстия (при снятых крышках), определяющие амплитуду вероятности его прохождения из S в P , согласно фейнмановскому методу суммирования по историям, можно уподобить вкладам гипотетических источников света в отверстиях экрана при подсчетах на основе принципа Гюйгенса. Опять применяя аналогию «негатив—позитив» в фотографии, можно утверждать, что амплитуда вероятности попадания электрона из точки S в точку P определяется отношениями электрона со всеми частицами экрана (с открытыми отверстиями) и с детектором в точке P . Но экран и детектор составляют макроприбор. Следовательно, амплитуда вероятности данного процесса определяется отношениями электрона со всеми частицами макроприбора.

14.2. Фейнмановская формулировка квантовой механики

Реляционный подход к квантовой механики обычно ассоциируется с работами Р. Фейнмана, в которых произведено совмещение общепринятой квантовой механики с теорией прямого межчастичного взаимодействия.

14.2.1. Истоки фейнмановской формулировки квантовой механики

Р. Фейнман в своей Нобелевской лекции так описал исходные идеи своих исследований: «Из книг я понял, что все затруднения теорий квантовой электродинамики проистекали из двух обстоятельств. Во-первых, из бесконечной энергии взаимодействия электрона с самим собой. Этот источник трудностей существовал даже в классической электродинамике. Во-вторых, из бесконечностей, обусловленных бесконечным числом степеней свободы поля. (...) Мне казалось совершенно очевидным, что представление об электроне, взаимодействующем с самим собой, о том, что электрические силы действуют на ту же самую частицу, которая их вызывает, излишне, что оно даже глупое. Поэтому для себя я решил, что электрон не может взаимодействовать с самим

собой, а может взаимодействовать только с другими электронами. Но это значит, что никакого поля нет. (...) Мой общий план состоял в том, чтобы сначала решить классическую задачу, освободиться от бесконечной собственной энергии в классической электродинамике, а затем, после того как я на этой основе построю квантовую теорию, все должно было устроиться самым чудесным образом...

Вот так все и началось. Моя идея казалась мне настолько логичной и настолько изящной, что я влюбился в нее без памяти. А влюбиться без памяти в женщину можно только тогда, когда ты ее еще мало знаешь, а потому не видишь всех ее недостатков. Недостатки ты увидишь позже, но любовь уже достаточно сильна, чтобы удержать тебя. Так и я, благодаря своему юношескому энтузиазму, невзирая ни на какие трудности, оставался верен моей теории» [169, с. 194–197].

Итак, следовало построить квантовую теорию, соответствующую классической теории прямого межчастичного взаимодействия, где ключевую роль играет принцип Фоккера с действием вида (13.3.3). Но как это сделать? Как пишет Фейнман, «универсального способа преобразования классической механики в квантовую теорию не существует, хотя большинство учебников и пытаются убедить вас в этом. В учебниках вам говорят, что нужно найти обобщенные переменные, импульсы, и заменить их оператором $(\hbar/i)(\partial/\partial x)$. Но мне-то негде было взять импульсов, их у меня просто не было» [169, с. 209]. Очевидно, в учебниках имеется в виду общепринятая теоретико-полевая парадигма, а в данном случае необходимы иные методы рассуждений.

Как известно, принцип Фоккера записывается в виде равенства нулю вариации от классического действия. В связи с этим Фейнман искал «метод квантования, отправляющийся от действия — когда в квантовой механике используется интеграл действия» [169, с. 210]. Идея такого метода была найдена в одной из статей Дирака, где было показано, что «в квантовой механике имеется исключительно важная величина, осуществляющая преобразование волновой функции, определенную в один момент времени, в волновую функцию, определенную в другой момент времени, не при помощи дифференциального уравнения, а другим эквивалентным образом, что-то вроде интегрального ядра, которое мы можем обозначать через $K(x', x)$ и которое преобразует волновую функцию $\psi(x)$, известную в момент времени t , в волновую функцию $\psi(x')$, определенную в момент времени $t + \varepsilon$ » [169, с. 211]. Дираком было показано, что эта замечательная функция имеет вид

$$K(x', x) \sim \exp \left[i\varepsilon L \left(\frac{x' - x}{\varepsilon}, x \right) \right], \quad (14.2.1)$$

где L — функция Лагранжа классической частицы, зависящая от координат x и скорости частицы $(x' - x)/\varepsilon$.

Используя эту идею Дирака, Фейнману нужно было только заменить в формуле (14.2.1) знак пропорциональности на знак равенства с неким коэффициентом A . В итоге у него получился результат:

$$\psi(x', t + \epsilon) = \int A \exp \left[i\epsilon L \left(\frac{x' - x}{\epsilon}, x \right) \right] \psi(x, t) dx. \quad (14.2.2)$$

Дальше необходимо было использовать разложение входящих сюда величин в ряды Тейлора по малым смещениям по координатам и интервалу времени ϵ и взять гауссовые интегралы, что приводило к уравнению Шредингера.

Так появилась новая, третья по счету (после шредингеровской и гейзенберговской), фейнмановская формулировка квантовой механики, ныне известная как метод континуального интегрирования. Он широко применяется в квантовой теории, причем, как правило, вне связи с реляционными истоками этого метода. Все три формулировки оказались эквивалентными в традиционной области применения квантовой теории, однако порождают разный ход мысли при попытках обобщений теории и при выходе за пределы привычных представлений, что нас здесь больше всего интересует.

14.2.2. Фейнмановская формулировка квантовой механики

Поясним, как Фейнман трактовал суть квантовой механики. Он сравнивал определения вероятностей процессов в классической теории вероятностей и в квантовой механике. Так, пусть в классической теории вероятностей определены вероятности W_{ab} события b , если ранее произошло событие a и вероятности W_{bc} события c , если произошло событие b . Тогда классическая вероятность W_{ac} события c при известном событии a определяется классической формулой

$$W_{ac} = \sum_b W_{ab} W_{bc}, \quad (14.2.3)$$

где суммирование производится по всем возможным событиям b . Как пишет Р. Фейнман, в квантовой механике имеется следующий «замечательный закон»: существуют комплексные числа φ_{ab} , φ_{bc} , φ_{ac} , такие, что

$$W_{ab} = |\varphi_{ab}|^2, \quad W_{bc} = |\varphi_{bc}|^2, \quad W_{ac} = |\varphi_{ac}|^2, \quad (14.2.4)$$

которые заменяют классическое соотношение (14.2.3) на

$$\varphi_{ac} = \sum_b \varphi_{ab} \varphi_{bc}. \quad (14.2.5)$$

Легко видеть, если соотношение (14.2.5) выполняется, то в общем случае классическое соотношение (14.2.3) становится неверным.

Ключевым понятием в фейнмановском подходе является *пропагатор* $K(x', x)$, т. е. амплитуда вероятности перехода частицы из одной точки пространства-времени в другую. Она задается с помощью двух постулатов, фактически заменяющих аксиомы скалярного произведения (метрические) в гильбертовом пространстве.

Первый постулат формулируется так. Амплитуда вероятности $K(B, A)$ перехода (частицы, системы) из положения A в положение B равна сумме комплексных слагаемых $K(\Gamma)$ — по одному для каждой классической времени-подобной траектории $\Gamma(B, A)$, соединяющей эти положения. Поскольку на самом деле возможные классические траектории (пути) составляют континuum, суммирование означает интегрирование

$$K(B, A) = \int K(\Gamma(B, A)) D\Gamma, \quad (14.2.6)$$

где $D\Gamma$ — специфическая мера.

Способ вычисления (14.2.6) поясним на примере одной нерелятивистской частицы. Пусть начальное положение частицы характеризуется моментом времени x_A^0 и координатами x_A^j , а конечное — соответственно x_B^0 , x_B^j . Промежуток времени $x_B^0 - x_A^0$ разобьем на большое число n равных интервалов $\epsilon = (x_B^0 - x_A^0)/n$ и рассмотрим совокупность пространственных сечений в моменты времени: $x_{(0)}^0 = x_A^0$, $x_{(1)}^0 = x_A^0 + \epsilon \cdots x_{(n)}^0 = x_A^0 + n\epsilon$. Построим путь, составленный из прямых отрезков, которые соединяют произвольные точки из последовательности пространственных сечений (см. рис. 14.2). Взяв все

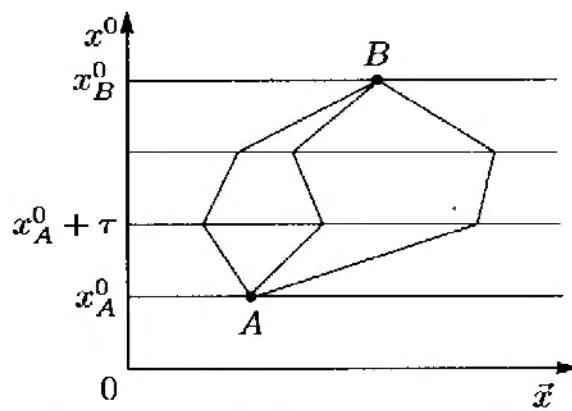


Рис. 14.2. Фейнмановское суммирование по историям

возможные точки на этих сечениях и все возможные их комбинации, получим множество возможных путей Γ между точками A и B , соответствующих данному n (разбиению временного интервала). Обозначим вклад каждого отрезка между точками $(x_{(s)}^0, x_{(s)}^j)$ и $(x_{(s+1)}^0, x_{(s+1)}^j)$ как

$K(s+1, s)$ и постулируем важное свойство этих вкладов вдоль пути Γ , соответствующее постулату квантовой механики (14.2.5):

$$K_{\Gamma}(s, r) = K_{\Gamma}(s, k)K_{\Gamma}(k, r), \quad (14.2.7)$$

где вдоль пути Γ : $0 \leq r < k < s \leq n$. Тогда, переходя к пределу $n \rightarrow \infty$, можно выразить амплитуду перехода (14.2.6) через многократный интеграл по всем возможным переходам между точками на совокупности 3-мерных сечений. Они образуют сумму по всем возможным путям.

Второй постулат позволяет записать в явном виде элементарные вклады $K(s+1, s)$. Он вытекает из идеи Дирака и состоит в следующем: «Все траектории вносят вклад, одинаковый по абсолютной величине; фаза каждого вклада представляет собой (выраженное в единицах \hbar) классическое действие, т. е. взятый вдоль траектории интеграл от функции Лагранжа по времени» [168, с. 175]. Это означает, что

$$K(s+1, s) = \frac{1}{C} \exp \left[\frac{iS(s+1, s)}{\hbar} \right], \quad (14.2.8)$$

где $S(s+1, s)$ — классическое действие между соседними точками $(x_{(s+1)}^0, x_{(s+1)}^j)$ и (x_s^0, x_s^j) ; C — некий весовой множитель. Мультипликативное свойство (14.2.7) для вкладов $K(s, r)$ вдоль пути Γ соответствует аддитивности классического действия вдоль Γ :

$$S_{\Gamma}(s, r) = S_{\Gamma}(s, k) + S_{\Gamma}(k, r), \quad (14.2.9)$$

где опять $0 \leq r < k < s \leq n$. Особо следует подчеркнуть, что пути между соседними точками полагаются прямыми.

Сформулированные постулаты позволяют определить ранее введенное в теоретико-полевом видении мира понятие амплитуды состояния $\psi(x^{\mu})$, или волновой функции частицы в произвольный момент времени x^0 . Это достигается обобщением пропагатора — амплитуды перехода из фиксированной начальной точки (x_1^0, x_1^j) — на случай произвольного начального распределения $\psi(x_1^0, x_1^j)$ в момент времени x_1^0 :

$$\psi(x^0, x^j) = \int K(x^0, x^j; x_1^0, x_1^j) \psi(x_1^0, x_1^j) d^3 x_1^j. \quad (14.2.10)$$

Как уже выше было отмечено, так определенная волновая функция удовлетворяет (нерелятивистскому) уравнению Шредингера для свободной частицы. Взаимодействие вводится через потенциальную энергию непосредственно в действие в экспоненте, через которую записывается $K(x', x)$, согласно (14.2.8).

Далее выстраивается здание общепринятой шредингеровской квантовой механики на языке фейнмановского подхода.

14.2.3. Развитие фейнмановского метода квантования

1. В работах ряда авторов показано, как с помощью фейнмановской методики перейти от уравнения Шредингера к релятивистскому уравнению Клайна—Фока. Здесь основная проблема состоит в выборе параметра эволюции. Замена абсолютного времени t на времени-подобную координату x^0 для этой цели не подходит, поскольку фейнмановский метод приводит к дифференциальному уравнению первого порядка по параметру эволюции и второго порядка по пространственно-подобным координатам, т. е. нарушается пространственно-временная симметрия. Для преодоления этой трудности было предложено использовать дополнительный параметр эволюции, фактически соответствующий новому времени-подобному измерению. Его можно трактовать как пятую координату 5-мерной геометрической модели типа теории Клейна (но не Калуцы). При этом все четыре классические пространственно-временные координаты x^μ (с сигнатурой пространства-времени Минковского) полагаются равноправными.

После того как получится 5-мерное уравнение шредингеровского вида, постулируется специальный вид зависимости волновой функции от дополнительного параметра эволюции, соответствующий условию компактификации в 5-мерной теории О. Клейна.

2. Сложнее обстоит дело с непосредственным переходом к уравнению Дирака, если не пользоваться окольным путем «извлечения квадратного корня» из уравнения Клайна—Фока. Как отмечал сам Фейнман, «если попытаться построить методом интегрирования по траекториям релятивистскую квантовую механику, то оказывается, что уравнение Клейна—Гордона (Клайна—Фока. — Ю. В.) устанавливается легко, но уравнение Дирака непосредственно получить очень трудно» [168]. По этой причине Фейнман начал построение теории с более позднего этапа, т. е. не с интегралов гауссовского вида, а прямо с постулирования пропагатора $K_0(2, 1)$, описывающего свободное распространение спинорной частицы из точки 1 в точку 2, который удовлетворяет неоднородному уравнению Дирака.

3. Важную часть фейнмановской формулировки квантовой теории занимает описание взаимодействий. Для этой цели Фейнман разработал диаграммную технику подсчета эффектов в квантовой электродинамике. Диаграммная техника представляет собой наглядное графическое представление метода последовательных приближений с четкими правилами построения диаграмм, соответствующих тем или иным процессам, и записи по этим диаграммам матричных элементов процессов.

Диаграммы составляются из сплошных фермионных и волнистых фотонных линий, которые соединяются друг с другом в вершинах, соот-

ветствующих процессу электромагнитного взаимодействия фермионных частиц. Линии могут быть либо внутренними, т. е. ограниченными вершинами с двух сторон, либо внешними, т. е. начинающимися в вершине и уходящими в «бесконечность». Как для вершин, так и для каждого типа фермионных и фотонных линий имеются свои аналитические выражения, составляющие матричный элемент процесса. Примером может быть диаграмма, изображенная на рис. 6.1, соответствующая простейшему порядку электромагнитного взаимодействия двух электронов. В значительной степени именно за эти работы Фейнману в 1965 г. была присуждена Нобелевская премия.

4. Как известно, решения уравнений Дирака описывают состояния как с положительными, так и с отрицательными энергиями. Очевидно, что теория дырок Дирака чужда духу теории прямого межчастичного взаимодействия, так как в последней нет понятия *вакуума*. Поэтому Фейнман предложил иную интерпретацию состояний с отрицательной энергией — античастицы трактуются как частицы, движущиеся в обратном направлении времени.

Данная интерпретация возникла из гипотезы Уилера о том, что вся материя мира определяется лишь одним электроном, мировая линия которого образует гигантский запутанный клубок. То, что нами наблюдается, представляет собой сечение этого единого клубка. При этом те точки сечения, где линия направлена в будущее, воспринимаются как различные электроны, а где в прошлое — как античастицы (или как частицы противоположного заряда). Фейнман писал: «Должен признаться, к его идеи о том, что все электроны это всего один электрон, я отнесся менее серьезно, нежели к его идеи о том, что позитрон можно представить себе просто-напросто как электрон, возвращающийся из будущего в прошлое по обратным участкам мировых линий. Этую, вторую идею я просто украл!» [169, с. 207].

Отметим, что эта идея приводит к существенному усложнению квантовой теории в фейнмановской интерпретации. Если в классическом варианте теории Фейнмана подразумевались лишь времени-подобные траектории, направленные в сторону возрастания времени, то в релятивистской квантовой теории необходимо рассматривать также траектории в обратном направлении времени, т. е. возникают два типа путей¹⁾: Γ_+ и Γ_- , где знаки снизу обозначают направление во времени.

5. Наконец отметим, что в ряде работ Хойла [188], Дэвиса [58, 59], Пегга и других анализировались эффекты и задачи, которые в стандартной квантовой теории поля обычно трактуются посредством понятия

¹⁾ В работах Г. В. Рязанова [148] два типа путей интерпретируются как два типа причинности и было предложено обобщение теории Фейнмана на случай четырех типов причинности.

вакуума и его флуктуаций. Было показано, что подобные эффекты, в частности лэмбовский сдвиг, эффект Казимира и другие, успешно могут быть переформулированы в терминах теории прямого взаимодействия через влияние со стороны возможных поглотителей Вселенной.

14.2.4. Пределы возможностей фейнмановского метода квантования

Фейнмановский метод квантования оказался пригодным для решения весьма ограниченного круга задач. Об этом писал и сам Фейнман: «Что касается применений к квантовой механике, то методу интегралов по траекториям присущи, к сожалению, серьезные недостатки» [170, с. 377]. Перечислим главные из них словами самого Фейнмана.

1. «Очень серьезным ограничением является то, что полуцелый спин электронов не имеет простого и ясного представления в нашем методе. Спин электрона можно ввести, если амплитуды вероятности и все величины рассматривать как кватернионы, а не как обычные комплексные числа; однако возникающая при этом некоммутативность таких чисел — серьезное усложнение» [170, с. 377]. Напомним, что эта трудность осложнила или даже остановила развитие ряда других теорий и программ (например, уилеровскую геометродинамику, геометризацию обычных видов материи в классической геометрофизике, построение единой нелинейной теории поля на базе бозонных полей и т. д.).

2. «Фактически интегрирование по траекториям ни тогда, ни впоследствии не стало удовлетворительным способом устранения расходимостей квантовой электродинамики» [170, с. 12]. Напомним, что попытка решения этой задачи явилась одним из главных мотивов всей программы построения фейнмановской формулировки квантовой механики. В Нобелевской лекции Фейнман сказал: «Я лично считаю, что теория перенормировки — это просто один из способов замечать подковер трудности электродинамики, связанные с расходимостью. Но, конечно, у меня нет в этом абсолютной уверенности» [169, с. 228].

3. «Мысль о том, что заряды не действуют на самих себя, пришлось оставить» [169, с. 228]. Это оказалось связанным с тем, что при описании фермионных полей (на основе дополнительных постулатов о фермионных пропагаторах) пришлось вводить линии в обратном направлении времени, соответствующие античастицам (цизитронам). А эти линии совместно с электронными линиями образовывали замкнутые петли, ответственные за самодействие. В итоге опять возникают бесконечности, т. е. проявляются прежние трудности квантовой теории поля, однако на ином языке.

4. Как писал Фейнман, не явилась необходимой мысль о «позитроне, как о ниящемся электроне». Такое представление было очень удобным, но, строго говоря, и без него можно было обойтись, ибо оно приводит к тем же самым результатам, что и теория дырок в море отрицательных энергий» [169, с. 228].

5. В качестве трудностей в своей формулировке квантовой механики Фейнман называл то, что «результаты не получаются унитарными, т. е. для них сумма вероятностей всех альтернативных вариантов оказывается меньше единицы. (...) Я думаю, что у нас нет совершенно удовлетворительной модели релятивистской квантовой механики, которая согласовалась бы если не с явлениями природы, то по крайней мере с элементарной логикой, требующей, чтобы сумма вероятностей всех альтернатив составляла 100 процентов» [169, с. 228].

6. Строго говоря, при разработке диаграммной техники Фейнман в ряде мест отошел от концепции дальнодействия. В частности, в реляционной теории не может быть излучения в бесконечность, т. с. фотонные линии не могут быть свободными. Можно даже сказать более определенно: концепция дальнодействия не была необходимой, а лишь послужила «повивальной бабкой» при разработке Фейнманом квантовой электродинамики. Эту ситуацию можно сравнить с процессом создания Эйнштейном общей теории относительности, когда принцип Маха (концепция дальнодействия) послужил одной из ведущих идей, но, когда теория была построена, принцип Маха оказался излишним.

Исходя из этого, можно понять заключительные слова Ноблевской лекции Фейнмана: «А что же стало со старой теорией, в которую я влюбился еще юношей? Она теперь стала почтенной старой дамой, почти совсем потерявшей былую привлекательность. Сердце юноши уж не забываетя учащенно при виде ее. Но о ней можно сказать самое лучшее, что можно сказать о пожилой женщине: что она очень хорошая мать и у нее очень хорошие дети. И я благодарен Шведской Академии наук за высокую оценку одного из них» [169, с. 231].

Работы Фейнмана были сделаны в самой середине XX в., и сейчас на них можно взглянуть с более общих позиций реляционного подхода, откуда виден главный дефект фейнмановской формулировки квантовой механики: она не явилась последовательной реляционной теорией, а занимает промежуточное положение между общепринятым теоретико-полевым подходом и чисто реляционной теорией. От реляционного миронимания взят отказ от категории полей переносчиков взаимодействий, а от теоретико-полевого подхода осталось использование самостоятельной категории классического пространства-времени. Фейнмановская формулировка квантовой механики, как нерелятивистской, так и релятивистской, строится на фоне уже заданного плоского пространства-времени. Это отражено даже в названиях работ Фейнмана по этому

вопросу. Так, его Нобелевская лекция называлась: «Разработка квантовой электродинамики в пространственно-временном аспекте» [169]. Основополагающая работа по фейнмановской формулировке квантовой механики называлась: «Пространственно-временной подход к квантовой механике» [168]. Но в гл. 12 и 13 показано, что реляционному мирономинанию соответствует реляционный же взгляд на природу классического пространства-времени.

Следует подчеркнуть, что использование априорно заданного пространства-времени лежит в самом основании практически всех известных формулировок и интерпретаций квантовой механики. Именно на этом фоне определяются специфические понятия и вводятся постулаты квантовой теории. Успешное применение так построенной теории для описания многих явлений микромира дает основание полагать, что в масштабах квантовой механики ($l \sim 10^{-7}$ см) классические пространственно-временные отношения сохраняют силу.

Однако имеется и иная точка зрения, состоящая в том, что вводимые дополнительные понятия свидетельствуют о необходимости замены классических пространственно-временных представлений на нечто иное, что временно удается имитировать дополнительными соображениями общепринятой квантовой теории. Эту мысль высказал один из создателей квантовой механики Луи де Бройль, который писал: «Понятия пространства и времени взяты из нашего повседневного опыта и справедливы лишь для явлений большого масштаба. Нужно было бы заменить их другими понятиями, играющими фундаментальную роль в микропроцессах, которые бы асимптотически переходили при переходе от элементарных процессов к наблюдаемым явлениям обычного масштаба в привычные понятия пространства и времени. Стоит ли говорить, что это очень трудная задача? Было бы удивительно, если бы оказалось возможным когда-нибудь исключить из физической теории понятия, представляющие самую основу нашей повседневной жизни. Правда, история науки показывает удивительную плодотворность человеческой мысли и не стоит терять надежды. Однако пока мы не добились успеха в распространении наших представлений в указанном направлении, мы должны с большими или меньшими трудностями втиснуть микроскопические явления в рамки понятий пространства и времени, хотя нас все время будет беспокоить чувство, что мы пытаемся втиснуть алмаз в оправу, которая ему не подходит» [13, с. 187].

Подобный вопрос ставил А. Эйнштейн, замечая, что «введение пространственно-временного континуума может считаться противостоящим, если иметь в виду молекулярную структуру всего происходящего в микромире», но в то же время полагал, что отказ от пространственно-временного континуума «смахивает на попытку дышать в безвоздушном пространстве». Действительно, при рассмотрении, на-

пример, строения атома уже невозможно утверждать, что электрон находится в какой-то определенной точке, а приходится говорить о некотором стационарном состоянии, которое можно вложить в классическое пространство-время в виде некоторого облака возможных положений (амплитуды вероятности) вокруг ядра. Точно так же невозможно описывать переходы между состояниями электрона в виде каких-то классических траекторий при испусканиях и поглощениях электромагнитного излучения.

Одним из наиболее существенных атрибутов классического пространства-времени является его непрерывность, на которой основана вся концепция близкодействия и, следовательно, доминирующая ныне в физике теория поля. Но, как это ни парадоксально, квантовая физика, построенная в рамках теории поля, одновременно ставит под вопрос свойство непрерывности. Об этом неоднократно писал и сам Р. Фейнман: «Теория, согласно которой пространство непрерывно, мне кажется неверной, потому что она приводит к бесконечно большим величинам и другим трудностям» [169].

Трудно отказаться от основополагающих понятий теории, исходя из этой же теории, однако последовательный реляционный подход позволяет взглянуть на этот вопрос как бы извне, на основе более общих позиций.

14.3. Метод S-матрицы в квантовой теории

Наивысшая стадия в развитии реляционного подхода к квантовой теории связана с введением метода S-матрицы. Как уже отмечалось, идея S-матричного подхода была выдвинута Дж. Уилером и В. Гейзенбергом и развита в теорию S-матрицы в 60-х гг. в трудах ряда авторов. Именно в то время большое внимание уделялось анализу оснований квантовой теории.

14.3.1. Суть метода S-матрицы

1. Чрезвычайно важный для интерпретации квантовой теории в рамках монистической парадигмы аспект, содержится во втором блоке аксиом гильбертова пространства — в аксиомах скалярного произведения. Он состоит в том, что наряду с пространством векторов состояний вводится пространство со-векторов состояний, и метрика (скалярное произведение) определяется для пары элементов (вектора и со-вектора) из двух разных пространств.

Напомним, понятие состояния и амплитуды вероятности наиболее строго формулируются в аксиоматиках квантовой механики. Одна из первых была развита П. А. М. Дираком [55]. В ней были использованы

понятия и методы теории гильбертова пространства и его обобщений. Ключевой характер имеют аксиомы векторных пространств, характеризующие свойства состояний квантовых систем, и аксиомы скалярных произведений, — своеобразная метрика, характеризующая свойства отношений, — амплитуд вероятностей.

Этот фактор послужил основой для построения сначала гейзенберговской матричной формулировки квантовой механики, опирающейся на понятие матрицы элементов, характеризующих амплитуды вероятности переходов между всеми возможными парами векторов (начальных состояний) и со-векторов (конечных состояний) квантовой системы, а затем для построения так называемой *теории S-матрицы* в квантовой теории поля. В последней также определяются начальные состояния $\Phi(s)_{-\infty}$ (на минус-бесконечности) и конечные состояния системы $\Phi(r)_{+\infty}$ (на плюс-бесконечности) и, игнорируя даже постановку вопроса о промежуточных состояниях, из самых общих принципов пытаются вывести амплитуды вероятности перехода $S(s, r)$ между парами возможных состояний, характеризуемых некоторыми обобщенными параметрами s и r . Очевидно, что элементы S-матрицы представляют собой метрику (скалярные произведения) между элементами (векторами) двух множеств.

2. В большинстве работ S-матрица вводилась как вторичное понятие, исходя из действия или лагранжианов теории поля. Однако рядом исследователей был избран иной путь — предлагалось так переформулировать квантовую теорию, чтобы столь естественное для реляционного миропонимания понятие S-матрицы стало исходным, тогда как более привычные понятия — волновые функции, уравнения, лагранжианы и другие — оказались вторичными, вспомогательными.

Выше уже отмечалось, что практически всегда одну аксиоматику можно заменить на иную так, что некоторые теоремы первой становятся аксиомами второй. Тогда аксиомы первой станут теоремами второй, однако в данном случае речь шла не о простом переопределении первичных и вторичных понятий, а предлагалось значительно большее.

3. Как уже отмечалось, в общепринятой квантовой теории приходится выходить за пределы гильбертова пространства, — для ряда процессов некоторые элементы S-матрицы получаются бесконечно большими. В S-матричном же подходе предлагалось исходить из выражений лишь с *конечными значениями* матричных элементов, непосредственно связанными с измеряемыми величинами. Этот ход мысли заставлял пересмотреть ряд положений существующей теории.

4. Формулировка квантовой теории на основе S-матричного подхода еще более приблизилась к аристотелевским принципам триединства первоначала, т. е. к монистической парадигме. Однако опять вставала задача, с которой столкнулся Аристотель, — необходимо было спуститься

от общих принципов триединства к конкретным понятиям и закономерностям физического мира. Для этого нужно было еще опереться на какие-то принципы, позволяющие развернуть содержательную теорию, соответствующую известной физике. В 60-х гг. для этой цели в теории S-матрицы были использованы принципы лоренцевской инвариантности, аналитичности, причинности и другие. Очевидно, что это означало включение дополнительных аксиом, соответствующих 4-мерию физического мира, его сигнатуре и других.

5. Главные надежды возлагались на *свойства аналитичности* S-матрицы. Предлагалось перейти к комплексным значениям энергий, тогда интегрирования производились в комплексной плоскости и важную роль приобретали методы анализа комплексных переменных с вычетами, правилами обхода полюсов и т. д. В этом подходе частицы и их характеристики описывались полюсами в комплексной плоскости. Так, в первой половине 60-х гг. Ф. Чью писал: «С новой точки зрения, S-матрица представляется идеально подходящим инструментом для отыскания ключа к микромиру. Более того, по всей видимости, этот ключ уже найден — он содержится в аналитичности элементов S-матрицы как функций импульсов входящих и выходящих частиц» [192].

14.3.2. S-матрица и классическое пространство-время

Некоторые исследователи S-матричного подхода пришли к ряду концептуальных выводов, чрезвычайно важных для всего реляционного миропонимания. Из них выделим два: об отношении к классическому пространства-времени в физике микромира и о роли микроприбора.

1. Ф. Чью — активный исследователь квантовой теории поля середины XX в. — в своей работе с характерным названием «Сомнительная роль пространственно-временного континуума в микроскопической физике» писал: «Как только аналитичность полагается базисным принципом, из нее вытекает невероятное число следствий. Стапп показал, что все общие симметрии, до этого следовавшие из теории поля, могут быть выведены из аналитичности. Более того, предписания, которые составляют квантовую электродинамику, также могут быть выведены. Фактически, все предсказательные возможности, даваемые теорией поля, могут быть воспроизведены аналитической S-матрицей без какого-либо упоминания пространства-времени или полей. Это положение было впервые высказано Гелл-Манном в 1956 г. и проверено большой серией последующих исследований, проведенных такими авторами, как Голдбергер, Лоу, Мандельстам, Нишиджима, Ландау, Кутковский, Фрайссат, Стапп, Полкингорт и Гунсон. И это достижение является только началом» [193, с. 535].

В этой статье фактически поднят чрезвычайно важный концептуальный вопрос о приоритете координатного или импульсного пространств в физике микромира. Известно, что уже в рамках классической аналитической механики проявились поразительные аналогии между координатным и импульсным описанием. Например, это имеет место в канонических уравнениях Гамильтона, в классических скобках Пуассона и в других положениях классической механики. Еще большая аналогия и симметрия координат и импульсов проявилась в квантовой механике и в квантовой теории поля: в соотношениях неопределенностей, в перестановочных соотношениях, в эквивалентности координатного и импульсного представлений и т. д. Этот факт даже заставил некоторых видных физиков-теоретиков поставить вопрос о том, что в физике следует считать более фундаментальным (первичным): координаты (координатное пространство-время) или импульсы (импульсное пространство)?

Из статьи Чью следует, что он выступает за первичный характер импульсного пространства в физике микромира, описываемой на основе S-матричного подхода. Он пришел к выводу, что «концепция пространства и времени играет в современной физике микромира роль, аналогичную той, что играл эфир в макроскопической физике XIX в.» [193, с. 529].

2. Другой активный приверженец теории S-матрицы Ф. Дайсон, обсуждая трудности с расходимостями в математическом аппарате квантовой теории поля, писал: «Можно истолковывать различие между содержащим расходимости гамильтоновым формализмом и формализмом с конечной S-матрицей как различие между двумя картинами мира, рассматриваемого двумя наблюдателями, которые имеют в своем распоряжении различные измерительные приборы. Первую картину, представляющую собой набор квантованных полей с локализованными взаимодействиями, видит воображаемый наблюдатель, аппараты которого не имеют атомной структуры и точность измерений которого ограничивается только существованием фундаментальных постоянных c и \hbar . Такой наблюдатель будет называться в последующем «идеальным». Вторую картину, представляющую собой набор наблюдаемых величин (по терминологии Гейзенberга), видит реальный наблюдатель, аппараты которого состоят из атомов и элементарных частиц и точность измерений которого ограничивается не только постоянными c и \hbar , но также такими постоянными, как α и t . Реальный наблюдатель выполняет спектроскопические наблюдения и производит эксперименты, включающие бомбардировку атомных систем различными типами взаимодействующих субатомных снарядов, однако он, насколько нам сейчас известно, никак не может измерить напряженностей отдельного поля, не возмущенного в результате взаимодействия этого поля с другим полем.

Идеальный наблюдатель, используя свои аппараты так, как это было описано при анализе гамильтонова формализма Бором и Розенфельдом, производит, наоборот, измерения как раз последнего рода, и именно в связи с такими измерениями интерпретируются перестановочные соотношения для полей... Парадокс заключается в действительности в том, что в настоящей статье (в статье Дайсона — Ю. В.) при выводе конечных выражений приходится исходить из бесконечных выражений. Соответственно этому следует ожидать, что будущая теория будет представлять собой не столько изменение настоящей теории в сторону замены всех бесконечных величин на конечные, сколько такую перестановку отдельных частей теории, после которой конечные величины станут первичными, а бесконечные — вторичными. (...) Гамильтонов формализм должен выступать как предельная форма описания мира, рассматриваемого наблюдателем определенного типа; при этом данный предел достигается тогда, когда допустимая для наблюдателя точность измерений стремится к бесконечности» [53, с. 237].

Это высказывание Дайсона заставляет задуматься об описании макроприбора в будущей теории.

Исходя из ряда предварительных успехов теории S-матрицы, Чью задается вопросом: «Почему же тогда не наблюдается панического бегства физиков от теории поля и пространства-времени в распостертье объятия аналитической теории S-матрицы?» Чью объяснял это консерватизмом физиков и привычкой описывать динамику посредством уравнений поля, выражая уверенность в том, что это временное явление: «Физика двадцатого столетия уже испытала две живительные революции — в виде теории относительности и квантовой механики. Сейчас мы стоим на пороге третьей» [193, с. 539].

Данная статья была написана в середине XX в., но физика в двадцатом столетии так и не переступила порог третьей революции. Время показало, что принцип аналитичности S-матрицы оказался не столь фундаментальным, чтобы поднять физику на принципиально новый уровень — перейти к монистической парадигме. Однако это не умаляет роль S-матрицы в квантовой физике. Правильнее было бы считать, что следует искать иные ключевые свойства S-матрицы, действительно имеющие фундаментальный характер.

14.4. Бинарные системы отношений

Временно отступим от обсуждения существенных для реляционного подхода идей, выдвинутых в рамках исследований квантовой теории поля, и укажем идеи, сформулированные в совершенно иной области — в рамках классической физики. Как их авторы, так и их коллеги не усматривали непосредственной связи этих идей ни с теорией прямого

межчастичного взаимодействия, ни с квантовой теорией поля. Они были выдвинуты также в 60-х гг. и, как оказалось впоследствии, удивительно подходят для переформулировки квантовой механики в духе S-матричного подхода.

В связи с этим еще раз напомним чрезвычайно важное обстоятельство, сформулированное в аксиоматике Дирака квантовой теории, отсутствовавшее в реляционных представлениях о пространстве-времени и в первых вариантах квантовой теории, — введены два вида векторных пространств, описывающих начальные и конечные состояния систем. Амплитуды вероятности задаются между векторами (элементами) двух противоположных множеств. Как будет показано ниже, это фактически означало основание нового вида реляционных теорий — бинарных (теорий бинарных систем отношений), которые играют ключевую роль в обсуждаемой ниже бинарной геометрофизике.

14.4.1. Принципы бинарной геометрии

В ходе анализа принципов ньютоновской механики и ее возможных обобщений Ю. И. Кулаков показал [90, 92], что, действуя точно по тем же правилам, как и в теории унарных физических структур (на одном множестве элементов), можно построить содержательную теорию на двух множествах элементов. Кратко поясним основные понятия и принципы теории бинарных систем отношений в наиболее общем виде.

1. Постулируется, что имеется не одно, как в случае унарных систем отношений, а два множества неких элементов. Обозначив первое множество символом M , а второе — N , будем характеризовать элементы первого множества латинскими буквами (i, j, k, \dots), а элементы второго множества — греческими ($\alpha, \beta, \gamma, \dots$).

2. Между любой парой элементов из разных множеств задается парное отношение — некоторое вещественное или комплексное число $u_{i\alpha}$ (см. рис. 14.3).

3. Как и в случае унарных структур, полагается, что имеется некий алгебраический закон, связывающий все возможные отношения между любыми r элементами множества M и s элементами множества N :

$$\Phi_{(r,s)}(u_{i\alpha}, u_{i\beta}, \dots, u_{k\gamma}) = 0. \quad (14.4.1)$$

Целые числа r и s характеризуют ранг (r, s) бинарной структуры (системы отношений). Очевидно, что функция $\Phi_{(r,s)}$ в (14.4.1) теперь зависит от $r \times s$ аргументов.

4. Опять, как и в случае унарных систем отношений, используется принцип фундаментальной симметрии, т. е. полагается, что закон (14.4.1) будет справедлив при замене элементов i, j, \dots и α, β, \dots на любые другие элементы соответствующих множеств.

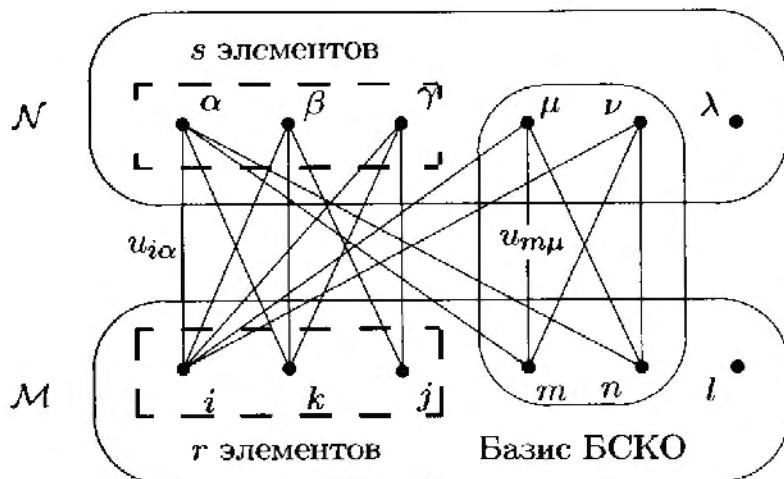


Рис. 14.3. Бинарная система отношений (структура) ранга (r, s)

5. Если предположить, что два множества элементов являются *непрерывными*, то наличие фундаментальной симметрии позволяет записать функционально-дифференциальные уравнения и из них найти вид как парных отношений $u_{i\alpha}$, так и саму функцию $\Phi_{(r,s)}(u_{i\alpha}, \dots)$.

В построенной на этих принципах теории возникают аналоги понятий координат в геометрии или компонент векторов, которые имеют тот же характер, что и в теории унарных систем отношений. Чтобы к ним прийти, опять в законе (14.4.1) нужно положить $r - 1$ элементов множества \mathcal{M} и $s - 1$ элементов множества \mathcal{N} *эталонными*. Тогда на этот закон можно смотреть как на соотношение, определяющее парное отношение между двумя оставшимися неэталонными элементами (пусть это будут элементы i и α) через их отношения к эталонным элементам. Отношения же между самими эталонными элементами можно считать раз и навсегда заданными. Тогда оказывается, что парное отношение $u_{i\alpha}$ характеризуется $s - 1$ параметрами (координатами) элемента i (его отношениями к $s - 1$ эталонным элементам множества \mathcal{N}) и $r - 1$ параметрами элемента α .

6. Оказалось, что законы бинарных систем отношений записываются в виде равенств цулю определителей из парных отношений. Опять, как и в случае унарных систем отношений, в построении теории и ее интерпретации ключевую роль играют миноры определителя, через который записан закон бинарной систем отношений.

7. Существенно подчеркнуть, что развивающаяся таким образом теория опирается исключительно на систему внутренних понятий, т. е. не нуждается в привлечении посторонних факторов, например классических пространственно-временных представлений.

14.4.2. Виды возможных бинарных систем отношений

Ю. И. Кулаковым была поставлена задача нахождения всех возможных бинарных структур (бинарных систем отношений), исходя из найденного им простейшего примера — бинарной структуры ранга (2,2), в терминах которой в гл. 4 был записан 2-й закон Ньютона. Для случая *вещественных отношений* эта задача в самом общем виде была решена его учеником Г. Г. Михайличенко (см. [90]). Отвлекаясь от всех математических деталей, охарактеризуем полученный результат. Оказалось, существуют бинарные системы вещественных отношений (БСВО) не во всех мыслимых рангах (r, s) , а только трех типов рангов, изображенных на рис. 14.4, где по вертикальной оси отложены значения s , а по

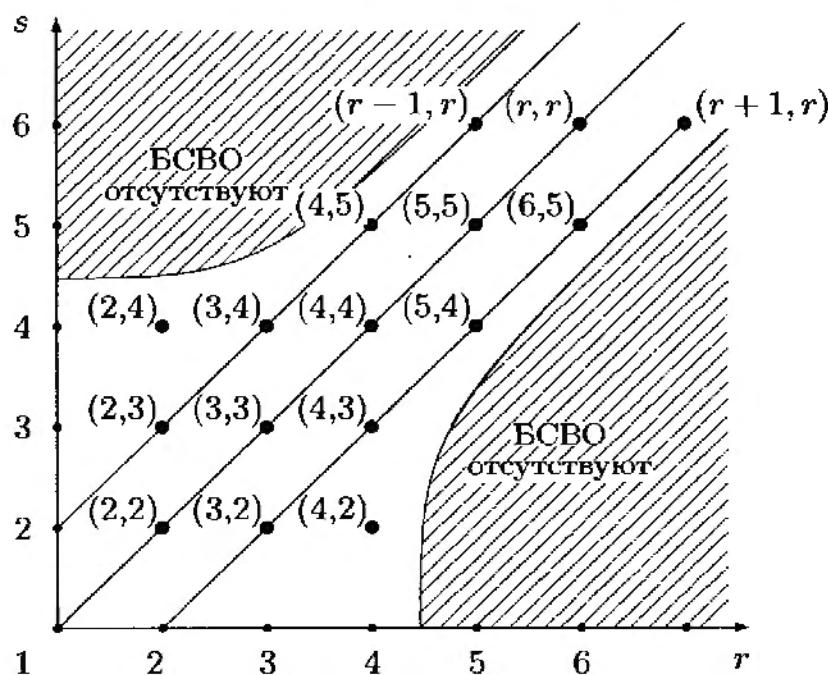


Рис. 14.4. Существующие бинарные системы вещественных отношений

горизонтальной оси — r . Как видно из рисунка, существуют следующие БСВО:

- 1) на главной диагонали БСВО рангов (r, r) , где $r \geq 2$;
- 2) на двух побочных диагоналях БСВО рангов $(r \pm 1, r)$;
- 3) исключительная БСВО ранга (4,2) и эквивалентная ей БСВО ранга (2,4).

Г. Г. Михайличенко нашел все возможные виды законов для систем отношений названных рангов. Подчеркнем, что, в отличие от случая унарных структур для бинарных систем отношений, эта задача решается в общем виде. В частности, было показано, что для систем отношений симметричных рангов имеется два и только два вида решений. Для

одного вида закон представляется в виде

$$\Phi_{(r,r)}(u_{i\alpha}, u_{i\beta}, \dots) = \begin{vmatrix} u_{i\alpha} & u_{i\beta} & \cdots & u_{i\gamma} \\ u_{k\alpha} & u_{k\beta} & \cdots & u_{k\gamma} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ u_{j\alpha} & u_{j\beta} & \cdots & u_{j\gamma} \end{vmatrix} = 0, \quad (14.4.2)$$

где парное отношение представляется в форме

$$u_{ik} = \sum_{l=1}^{r-1} i^l \alpha^l. \quad (14.4.3)$$

Здесь $i^1, i^2, \dots, i^{r-1} - r - 1$ параметров элемента i , а $\alpha^1, \alpha^2, \dots, \alpha^{r-1} - r - 1$ параметров элемента α . Этот случай можно считать общим; оставим для него прежнее обозначение ранга (r, r) .

Второе решение соответствует закону

$$\tilde{\Phi}_{(r,r;a)}(a_{i\alpha}, a_{i\beta}, \dots) = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & \cdots & 1 \\ 1 & a_{i\alpha} & a_{i\beta} & \cdots & a_{i\gamma} \\ 1 & a_{k\alpha} & a_{k\beta} & \cdots & a_{k\gamma} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 1 & a_{j\alpha} & a_{j\beta} & \cdots & a_{j\gamma} \end{vmatrix} = 0, \quad (14.4.4)$$

где парное отношение a_{ik} представляется в форме

$$a_{ik} = \sum_{l=1}^{r-2} i^l \alpha^l + i^{r-1} + \alpha^{r-1}. \quad (14.4.5)$$

Здесь опять присутствуют по $r - 1$ параметров каждого из двух элементов, однако по одному из параметров оказываются выделенными. Для этого случая ранг будем обозначать символом $(r, r; a)$.

В работах В. Х. Льва [96], ученика Ю. И. Кулакова, было показано, что бинарные системы отношений ранга $(r, r; a)$ можно понимать как своего рода *вырожденные* бинарные системы отношений более высокого ранга.

Не будем выписывать законы и парные отношения на побочных линиях рисунка и для двух исключительных бинарных систем отношений рангов $(4,2)$ и $(2,4)$, поскольку они здесь не будут использоваться (см. [32, 92]).

14.4.3. Следствия открытия бинарных геометрий

Открытие бинарных систем отношений приводит к ряду далеко идущих следствий, важных для построения реляционного миропонимания. Назовем главные из них.

1. Теория бинарных систем отношений строится по образу и подобию теории унарных систем отношений, соответствующих, как это было показано в гл. 12, общепринятым геометриям. Следовательно, найденные

в группе Кулакова бинарные физические структуры (бинарные системы отношений) можно трактовать как новый класс *бинарных геометрий*, в которых можно ввести аналоги многих известных геометрических понятий, например объемов, площадей и т. д.

2. В исследованиях группы Кулакова было доказано, что *отсутствуют нетривиальные содержательные теории тернарных, тетрадных и т. д. систем вещественных отношений*. Следовательно, природа ограничилась случаями бинарных и унарных систем отношений, причем теория бинарных систем отношений оказалась значительно проще теории унарных структур. Это уже относится к сфере метафизики.

3. Унарные системы отношений можно получить из бинарных систем отношений специальной «склейкой» элементов из двух множеств в новые элементы уже одного множества, причем отношения между ними строятся из первичных бинарных отношений. Это пояснено на рис. 14.5.

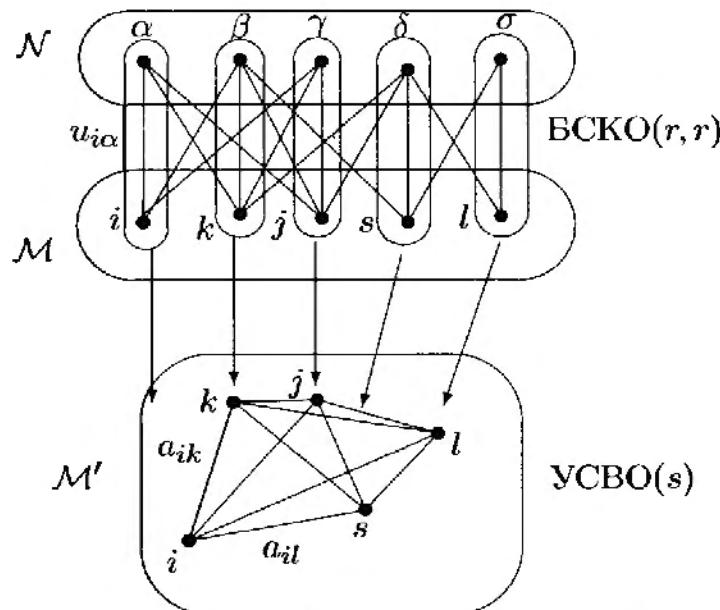


Рис. 14.5. Переход от бинарных систем отношений к унарным системам отношений

Следовательно, есть все основания полагать, что *бинарные системы отношений тесно связаны с метафизикой, описывают более глубокие основы мироздания, нежели общепринятые (унарные) геометрии*.

4. В теориях геометрического миропонимания ставится задача геометризации основных понятий физики и разработки объединенных моделей физических взаимодействий на основе обычной, т. е. унарной геометрии. В теоретико-полевом подходе физика строится на фоне унарной геометрии. Однако поскольку существуют более элементарные бинарные геометрические конструкции, то, естественно, возникает мысль — положить в основу программы геометризации физики именно би-

нарные системы отношений. Так и предлагается делать в бинарной геометрофизике.

5. В пользу перехода к бинарной геометрии говорит и следующее обстоятельство. Уже неоднократно отмечалось своеобразное извлечение «квадратных корней» из привычных классических величин и соотношений. Прежде всего, следует назвать спиноры как «квадратные корни из векторов». Аналогичным примером является введение амплитуд вероятности в квантовой механике «как квадратных корней из классической вероятности». В общей теории относительности при описании спинорных частиц важную роль играют тетрады, которые также можно рассматривать как своеобразные «квадратные корни из компонент метрического тензора». Примечательно, что все названные примеры так или иначе связаны с квантовой теорией. Открытие бинарных геометрий следует поставить в один ряд с названными примерами, т. е. *бинарную геометрию можно назвать «корнем квадратным из обычной унарной геометрии*», в том смысле, что, «склеивая» два множества элементов бинарной системы отношений, получаем одно множество точек обычной геометрии.

14.5. Выводы и замечания

Исходя из изложенного в этой главе, можно сделать ряд выводов.

1. Фейнмановскую формулировку квантовой механики, несмотря на исходную реляционную мотивировку, нельзя отнести к последовательной теории реляционного миропонимания. Анализ показывает, что она занимает промежуточное положение между теоретико-полевым и реляционным подходами. В ней от теоретико-полевого миропонимания взято априорно заданное классическое пространство-время, а от реляционного миропонимания — дальнодействующий характер физических взаимодействий.

Можно сказать, что Фейнман остановился на полпути. Описав реляционным образом физические взаимодействия, он не затронул сути классического пространства-времени, — оно осталось прежним. Однако сам факт отказа от полей переносчиков взаимодействий свидетельствует о потере пространством-временем одного из главных своих назначений — быть фоном, на котором определены и распространяются поля в концепции близкодействия. Это отмечалось многими исследователями концепции дальнодействия, приходившими к выводу о *необходимости использования реляционной концепции самого пространства-времени*, однако это так и не было внесено в фейнмановскую формулировку квантовой механики.

Для перехода к действительно реляционной формулировке квантовой теории необходимо переинтерпретировать фейнмановский «про-

страннынно-временной аспект» в реляционном духе, что наиболее естественно сделать с помощью бинарных систем отношений.

2. В рамках квантовой теории, развиваемой на основе метода континуального интегрирования, не удалось преодолеть трудностями с расходимостями квантовой теории поля, на что так надеялся Р. Фейнман. В ней проявились прежние трудности, но на ином языке.

3. S-Матричный метод в квантовой теории, фактически соответствующий идеологии концепции дальнодействия, не был связан с ветвью исследований в рамках теории прямого множественного взаимодействия. Метод S-матрицы опирался на анализ локальных свойств микросистем вне связи с закономерностями окружающего мира, т.е. того, что принято трактовать в виде принципа Маха.

4. Сторонники реляционного подхода отмечали, что для дальнейшего развития этого направления необходимо привлечение новых идей и методов как математического, так и физического характера, однако когда такие появлялись в виде теории физических структур, на них не обратили должного внимания. Можно предположить, что это было связано с двумя обстоятельствами.

Первое из них имеет самое непосредственное отношение к метафизике и к ее роли в физических исследованиях. Отсутствие интереса у профессиональных физиков-теоретиков к теории физических структур (к теории систем отношений) можно объяснить неприемлемой для них философией неоплатоновского вида, в пакете с которой автором формулировались принципы теории физических структур. Идеология Платона, провозглашенная Ю. И. Кулаковым, препятствовала иначе интерпретировать суть теории физических структур, в частности с позиций учения Аристотеля, более приближенного к реальному миру. Напомним, что Гейзенберг неоднократно подчеркивал соответствие принципов квантовой теории идеологии Аристотеля, что в данном случае как нельзя кстати.

Второе обстоятельство связано с кругом задач, решавшихся в группе Кулакова на основе теории физических структур. Таковыми были задачи классической физики типа переинтерпретации второго закона Ньютона, законов Ома для электрических цепей, законов толстых линз и тому подобные, которые находятся в глубоком тылу физики и считаются далекими от фронта современных исследований. Сам автор теории структур не продемонстрировал ее эффективность для решения актуальных проблем, что не способствовало интересу к этому кругу идей.

На пути к единой теории физического мироздания



Рассмотренные выше три миропонимания позволяют разглядеть более элементарные понятия и закономерности, определяющие структуру физического мироздания, — увидеть триединую первооснову мира, о которой шла речь в философской системе Аристотеля, и найти для нее адекватное математическое описание. (В предложенной системе иллюстраций выход на монистическую парадигму соответствует проникновению внутрь куба физической реальности на рис. V.1.)

Теория монистической парадигмы, как уже отмечалось, может быть разработана исходя из реляционного миропонимания (на рисунке это отображено несколькими стрелками). Символом $R_\mu(\mu)$ обозначена бинарная геометрофизика, которую можно трактовать также как предгеометрию, о необходимости которой говорили Дж. Уилер и другие авторы.

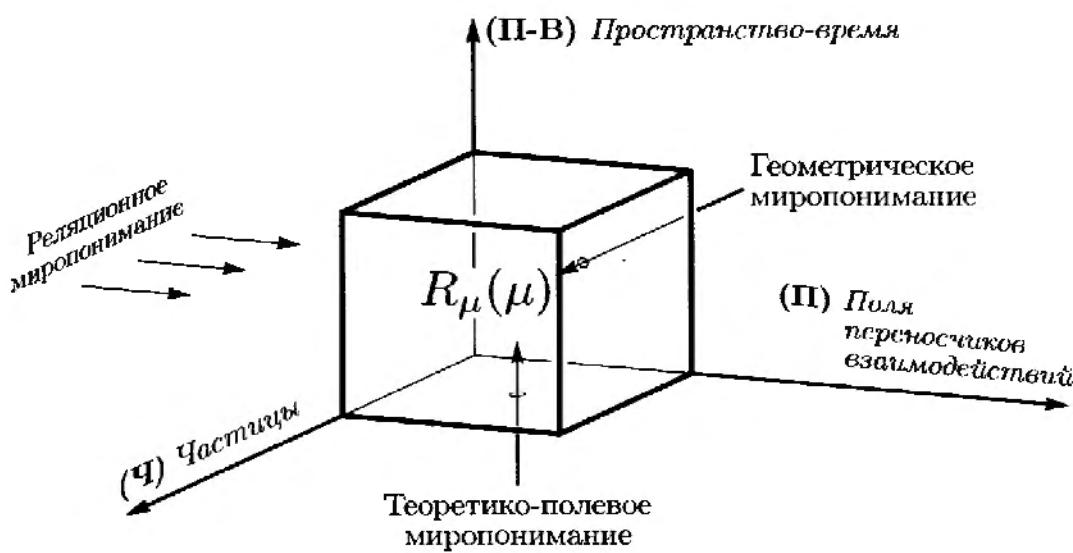


Рис. V.1. Бинарная геометрофизика как предгеометрия

В начальной главе этой части изложены требования, предъявляемые к искомой теории, и рассмотрим основные понятия бинарной геометрофизики и следствия, имеющие принципиальный характер.

Поскольку бинарная геометрофизика опирается на самостоятельную систему понятий и принципов, то в следующей главе этой части раскрывается способ перехода от данной теории монистического типа к используемым ныне теориям в рамках как трех дуалистических парадигм (миропониманий), так и к классической теории триалистической парадигмы, описанным в предыдущих частях книги.

Глава 15

Предгеометрия

Для построения физической теории в рамках монистической парадигмы, отражающей аристотелевское триединство, оказался необходимым математический аппарат бинарных систем отношений со следующей интерпретацией: два множества элементов бинарной геометрии соответствуют двум сторонам возможности у Аристотеля, а отношения между элементами двух множеств — третьей стороне, связывающей две противоположности в возможности и, следовательно, определяющей переход к действительности. Как уже указывалось, черты такой теории вырисовываются уже в рамках существующей квантовой теории, однако недоставало нужных принципов, налагаемых на элементы S-матрицы. В бинарной геометрофизике таковыми являются принципы бинарных систем отношений, заменившие прежние условия релятивистской инвариантности, причинности, аналитичности и др.

Развитие бинарной геометрофизики, предназначеннной для описания закономерностей микромира, потребовало обобщения математического аппарата бинарных физических структур по двум направлениям. Это, во-первых, переход от вещественных к комплексным отношениям, поскольку закономерности микромира описываются комплексными величинами. А во-вторых, следовало переработать математический аппарат в духе систем отсчета в теории относительности. Преобразованные таким образом бинарные структуры были названы бинарными системами комплексных отношений.

В предложенном подходе отсутствует априорно заданное классическое пространство, нет также полей, — им в принципе не по чему распространяться. По этой причине при построении теории можно было опереться лишь на реляционный подход, т. с. на концепцию дальнодействия. Понятия же классического пространства-времени выступают как вторичные, возникающие при переходе к достаточно большим системам из элементарных частиц (к макрообъектам).

15.1. Структура бинарной геометрофизики как предгеометрии

Охарактеризуем с самых общих позиций структуру искомой теории микромира (бинарной геометрофизики как предгеометрии) и ее соотношение с имеющимися физическими теориями. Для этого, прежде всего, отметим, что в любой физической теории единый мир расщепляется на три взаимосвязанные части: рассматриваемые объекты, субъект, относительно которого рассматриваются объекты, и весь остальной окружающий мир.

1. Рассматриваемые в теории *объекты* могут быть как отдельными элементарными частицами, так и достаточно сложными макрообъектами. Будем исходить из положения, что наиболее глубокие свойства мироздания проявляются при рассмотрении взаимодействий простейших элементарных частиц.
2. В качестве *субъекта* в физических теориях выступает тело отсчета, на базе которого определяется система отсчета.
3. *Окружающий мир* неявно входит в любую теорию, однако широко распространена иллюзия, что можно от него отвлечься и рассматривать явления локально, учитывая лишь обстановку в непосредственной близости. Идея участа всего окружающего мира обычно ассоциируется с принципом Маха.

Разделы физики (теории) принято различать в зависимости от масштаба (сложности) рассматриваемых в них объектов: в классической физике (механике) рассматриваются *макрообъекты*, а в квантовой механике и физике микромира описывается поведение *микрочастич*. Исходя из этого, все теории можно разделить на два класса — на имеющие дело с макрообъектами (обозначим их латинской буквой m) и на описывающие микрообъекты (обозначим их греческой буквой μ). Физическим теориям присвоим коренной символ R , тогда два названных класса теорий можно обозначать символами $R(m)$ и $R(\mu)$.

Оба класса теорий существенно отличаются друг от друга, но их родит общее, — в них чрезвычайно важную роль играет понятие *системы отсчета*. В нерелятивистской механике имеет место принцип относительности Галилея, основу релятивистской механики составляет специальная теория относительности. В общей теории относительности оказалось необходимым развить специальные методы описания систем отсчета. Современная квантовая теория сформулирована в релятивистски инвариантном виде. В ней, как уже отмечалось, понятие системы отсчета с необходимостью включает нечто большее. Имеется тесная аналогия между системами отсчета в теории относительности и макроприбором в квантовой механике. В современной квантовой механике и физике микромира всегда подразумевается, что описание микрообъектов

производится относительно макроприбора. Даже тогда, когда в квантовой теории описывается взаимодействие микрочастиц друг с другом, всегда подразумевается существование макрообъектов, — микрообъекты описываются терминами отношений микрообъектов к макрообъектам. Подчеркнем это обстоятельство, записав снизу символ макрообъекта m во введенном выше символическом обозначении теории. Тогда классической физике (первый класс теорий) будет соответствовать символ $R_m(m)$, а второму классу теорий, описывающих микрочастицы, — символ $R_m(\mu)$.

В развивающейся теории микромира, опирающейся на самостоятельную систему понятий и представлений, противостоятельно оставлять чуждое ей понятие макроприбора. В рамках данной теории микрообъекты должны рассматриваться относительно также микрообъектов. Следовательно, в бинарной геометрофизике должен быть микроаналог понятия классической системы отсчета, а сама теория должна обозначаться символом $R_\mu(\mu)$ (см. рис. V.1).

Для получения из бинарной геометрофизики теорий, соответствующих трем миропониманиям, необходимо учитывать весь окружающий мир. Избрав для обозначения окружающего мира символ M , введем его справа сверху над символом соответствующей теории R . Тогда квантовая теория может быть обозначена символом $R_m^M(\mu)$, а классическая механика — символом $R_m^M(m)$.

Соотношение названных теорий пояснено на блок-схеме рис. 15.1. На

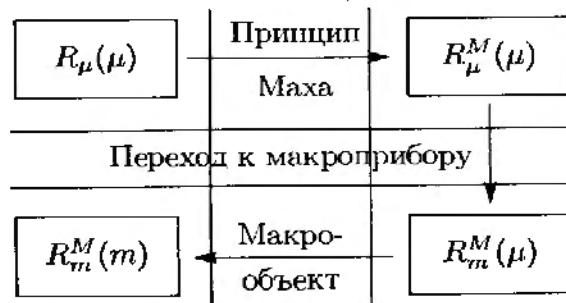


Рис. 15.1. Блок-схема бинарной геометрофизики

представленной блок-схеме стрелками обозначены переходы от самого элементарного уровня описания физики микромира (в рамках бинарной геометрофизики $R_\mu(\mu)$) к квантовой теории и классической механике. В некотором смысле эти переходы можно трактовать как этапы своеобразного «творения» привычных понятий окружающего мира из более первичных сущностей, которые уже не обладают наглядными свойствами окружающей нас материи.

В первой главе упоминались космогонические представления древних культур, дошедшие до нас в мифopoэтической обработке последующих поколений. Как правило, в этих космогониях рассказывается

о неком первичном хаосе или предокеане возможностей и о последующих этапах возникновения мира из первичного хаоса. Допедные до нас мифы представляют собой повествования о творении мира в какой-то исходный момент времени. Однако, следуя логике предшествующего изложения, естественно сформулировать иную гипотезу: исходные учения опирались на более глубокое понимание творения как происходящего из первоосновы всегда и постоянно. Может быть, этапы творения мира, о которых говорится в мифах и религиозных учениях, также можно трактовать как символическое обозначение упомянутых здесь переходов от первичной предгеометрии к наблюдаемой физике?

Указанные на блок-схеме переходы будут более подробно охарактеризованы в следующей гл. 16. Здесь же ограничимся обсуждением лишь самого элементарного уровня $R_\mu(\mu)$.

15.2. Иллюзии, от которых следует отказаться

Характер элементарного уровня бинарной геометрофизики, призванного описывать микрочастицы относительно микрочастиц, диктует отказ от многих укоренившихся представлений и иллюзий как классической, так и квантовой физики.

1. Необходимо отказаться от укоренившегося в сознании большинства убеждения о самостоятельном существовании классического пространства-времени как фона, сцены, на которой разворачивается спектакль окружающей нас жизни. Именно на этой убежденности покоятся многочисленные фантазии, гипотезы и даже физические «теории» относительно так называемой «машинами времени».

Классическая геометрия и соответствующие ей в реляционном подходе (унарные) пространственно-временные отношения по своей сути статичны: в них отсутствует идея развития. Введение времени-подобной координаты не меняет сути, поскольку это лишь изменяет сигнатуру, — просто квадрат одной из координат (компонент) пишется с обратным знаком. Идея эволюции вводится дополнительным постулатом последовательного рассмотрения состояний системы на 3-мерных пространственно-подобных сечениях вдоль координаты времени.

Идея самостоятельности категории пространства-времени как фона является продуктом мыслительной деятельности человека, основанной на памяти об уже осуществившихся явлениях (процессах), которые разумом продлеваются в будущее. Классическая физика и отражающая ее геометрия имеют дело с отношениями между уже осуществившимися (или мыслимыми в будущем) событиями: в каждый конкретный момент времени мир как бы

рождается заново. И в этом отношении слова известной песни наполнены глубоким философским содержанием:

«Есть только миг между прошлым и будущим,
Именно он называется жизнь».

Физика микромира тоже описывает не отношения между уже свершившимися событиями, а элементарные звенья процессов творения новых событий, которые, в принципе, являются вероятностными. В этом состоит смысл квантовой механики — в ней оказались оформленными и развитыми те идеи, которые высказывались еще мыслителями древности. Так, Аристотель, размышляя о сути движения тел, писал, что тело не может сразу пребывать в двух состояниях, — в прошлом и в будущем, — должно быть нечто третье — возможность, связывающая эти состояния.

Идея эволюции должна быть заложена уже в самом основании искомой теории (предгеометрии), которая призвана описывать каждый «миг» перехода «между прошлым и будущим» — элементарное звено любых процессов в мире.

2. *Понятие непрерывной эволюции применительно к отдельным элементарным частицам* является некорректным, поскольку оно тесно связано с памятью, которая возникает у достаточно сложных систем. Для отдельных элементарных частиц можно допустить лишь возможность дискретных переходов между состояниями. В самом простом варианте это некая пара состояний. Подобная ситуация возникла уже в боровской модели атома, где постулировались переходы электронов между атомными уровнями, но ничего не говорилось о промежуточных этапах этих переходов. Впоследствии эта идея нашла свое воплощение в теории S-матрицы.
3. *В основании искомой теории не должно быть континуума точек (элементов).* Уже теория относительности показала, что всякая физическая теория описывает лишь соотношения между событиями, происходящими с материальными объектами, а использование континуума означает добавление к реально существовавшимся событиям непрерывного множества лишних точек (событий).

«Теория, согласно которой пространство непрерывно, — писал Р. Фейнман, — мне кажется неверной, потому что она приводит к бесконечно большим величинам и другим трудностям» [169, с. 184]. Вспоминая слова Эйнштейна о том, что отказ от пространственно-временного континуума «смахивает на попытку дышать в безвоздушном пространстве», излагаемое далее в этой главе следует трактовать именно как такую попытку «дышать в безвоздушном пространстве». Другими словами, здесь предлагается

заменить классическое пространство-время более элементарными понятиями — комплексными отношениями.

Возможность построения дискретных моделей пространства-времени неоднократно рассматривалась физиками. Однако попытки использования жестких дискретных решеток успеха не имели, поскольку в них постулировались лишние узлы. А в реальном мире им не соответствуют какие-либо события.

4. При отказе от континуума промежуточных точек сразу же лишается своего основания концепция близкодействия с идеей полей переносчиков взаимодействий от одной частицы к другой. Электромагнитному и другим полям просто не по чему распространяться. Отсюда следует, что в искомой теории (в предгеометрии) среди первичных понятий не может быть переносчиков взаимодействий. *При построении искомой теории не остается ничего иного, как опереться на концепцию дальнодействия.*
5. Принцип неопределенностей Гейзенберга говорит о дополнительности геометрических и динамических свойств материи. Следовательно, *в основание бинарной геометрофизики должно быть заложено нечто третье, из чего возникают как динамические, так и пространственно-временные (координатные) понятия*. Причем ниоткуда не следует, что последние должны появляться раньше динамических характеристик, как это принято полагать в общепринятых теориях.
6. Принцип причинности, традиционно занимающий важное место, неизменно присутствует в аксиоматаиках как геометрии, так и квантовой теории. В геометрии этот принцип увязывался с аксиомами частичной упорядоченности, в квантовой теории — со специальными условиями, накладываемыми на S-матрицу. В предгеометрии нет возможности для его формулировки, поскольку в ней еще нет необходимых для этого понятий. *Вместо принципа причинности в бинарной геометрофизике постулируется всеобщая связь между всеми возможными явлениями*. При этом уместно напомнить замечание Э. Маха: «Закон причинности выражает взаимную зависимость между явлениями. Особое упоминание о пространстве и времени в выражении закона причинности не нужно, ибо все отношения пространства и времени снова сводятся ко взаимной зависимости между явлениями» [106, с. 428].
7. В искомой теории *среди первичных понятий не может быть привычных собственных характеристик частиц, таких как масса, электрический или иной заряд*, поскольку они имеют смысл лишь при наличии классических понятий и характеризуют поведение частиц в пространстве-времени. В дальнейшем будет показано,

что эти собственные характеристики частиц имеют относительный характер, т. е. строятся из отношений, существующих между элементами (частицами).

В процессе построения бинарной геометрофизики самого элементарного уровня $R_\mu(\mu)$ будут названы и другие иллюзии и представления, от которых приходится избавляться.

Наконец, отметим, что принцип суперпозиции, с которого начинается аксиоматика гильбертова пространства, также необходим для построения бинарной геометрофизики, однако, он будет использоваться на этапе перехода к макроприбору.

15.3. Исходные понятия математического аппарата бинарной геометрофизики

Перейдем к рассмотрению позитивных оснований предгеометрии, или, в нашей терминологии, бинарной геометрофизики.

1. Бинарная геометрофизика, предназначенная для описания элементарного звена («мига») перехода системы из одного в другое состояние, строится на двух множествах элементов M и N , характеризующих соответственно начальное и конечное состояния системы. Условимся обозначать элементы первого множества M латинскими буквами, а элементы второго множества N — греческими буквами.

В развивающей теории два множества элементов выступают равноправно, что соответствует обратимости прообраза времени на самом элементарном уровне.

2. Реляционное описание элементарного звена процесса означает задание гигантской мировой матрицы (15.3.1), обобщающей унарные мировые матрицы, приведенные в гл. 8 и 9:

$$M_{world} = \left(\begin{array}{c|ccccccccccccc} & \mu & \nu & \rho & \cdots & \alpha & \beta & \gamma & \delta & \sigma & \cdots \\ \hline a & u_{a\mu} & u_{a\nu} & u_{a\rho} & \cdots & u_{a\alpha} & u_{a\beta} & u_{a\gamma} & u_{a\delta} & u_{a\sigma} & \cdots \\ b & u_{b\mu} & u_{b\nu} & u_{b\rho} & \cdots & u_{b\alpha} & u_{b\beta} & u_{b\gamma} & u_{b\delta} & u_{b\sigma} & \cdots \\ c & u_{c\mu} & u_{c\nu} & u_{c\rho} & \cdots & u_{c\alpha} & u_{c\beta} & u_{c\gamma} & u_{c\delta} & u_{c\sigma} & \cdots \\ \cdots & \cdots \\ i & u_{i\mu} & u_{i\nu} & u_{i\rho} & \cdots & u_{i\alpha} & u_{i\beta} & u_{i\gamma} & u_{i\delta} & u_{i\sigma} & \cdots \\ j & u_{j\mu} & u_{j\nu} & u_{j\rho} & \cdots & u_{j\alpha} & u_{j\beta} & u_{j\gamma} & u_{j\delta} & u_{j\sigma} & \cdots \\ k & u_{k\mu} & u_{k\nu} & u_{k\rho} & \cdots & u_{k\alpha} & u_{k\beta} & u_{k\gamma} & u_{k\delta} & u_{k\sigma} & \cdots \\ l & u_{l\mu} & u_{l\nu} & u_{l\rho} & \cdots & u_{l\alpha} & u_{l\beta} & u_{l\gamma} & u_{l\delta} & u_{l\sigma} & \cdots \\ m & u_{m\mu} & u_{m\nu} & u_{m\rho} & \cdots & u_{m\alpha} & u_{m\beta} & u_{m\gamma} & u_{m\delta} & u_{m\sigma} & \cdots \\ \cdots & \cdots \end{array} \right) \quad (15.3.1)$$

где $u_{i\alpha}$ — парные отношения — числа, заданные для пар элементов из двух разных множеств.

Очевидно, что работать с такой матрицей чрезвычайно трудно.

3. Как и в случае унарного описания мира, мы исходим из положения, согласно которому бинарная мировая матрица обладает нулевым детерминантом. Однако имеется выделенное число (порядок) — ранг r , начиная с которого и выше миноры равны нулю. Поскольку рассматриваются элементы двух множеств, то ранг будем характеризовать двумя числами, соответствующими числам элементов в каждом из двух множеств. В бинарной геометрофизике оба множества являются эквивалентными, следовательно, будут использоваться лишь симметричные¹⁾ ранги (r, r) .

Забегая вперед, укажем, что бинарная геометрофизика строится на основе ранга $(6,6)$, однако в ней рассматриваются и случаи меньших рангов как некие упрощенные или идеализированные варианты.

4. Равенство нулю миноров данного критического порядка r назовем **законом бинарного мира или бинарных систем отношений**. Согласно изложенному, для ранга (r, r) закон записывается в виде равенства нулю определителя, образованного всеми возможными парными отношениями между произвольными r элементами множества M и произвольными r элементами множества N :

$$\Phi_{(r,r)}(u_{i\alpha}, u_{i\beta}, \dots) = \begin{vmatrix} u_{i\alpha} & u_{i\beta} & \cdots & u_{i\gamma} \\ u_{k\alpha} & u_{k\beta} & \cdots & u_{k\gamma} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{j\alpha} & u_{j\beta} & \cdots & u_{j\gamma} \end{vmatrix} = 0. \quad (15.3.2)$$

Отметим, что этот закон соответствует одному из вариантов диагональных бинарных структур (14.4.2), найденных Г. Г. Михайличенко. Отсюда следует, что парные отношения $u_{i\alpha}$ представляются в виде (14.4.3).

5. Особо подчеркнем, что закон (15.3.2) содержателен лишь при постулировании **фундаментальной симметрии** элементов в каждом из двух множеств, что означает, что этот закон не изменится при полной или частичной замене выделенных наборов из r элементов на любые другие r элементов.

6. Для построения бинарной геометрофизики оказалось необходимым обобщить теорию бинарных физических структур Ю. И. Кулакова с вещественными парными отношениями на случай бинарных систем **комплексных отношений**, когда парные отношения и параметры элементов описываются комплексными числами. Легко убедиться, что в комплексифицированной теории законы и парные отношения имеют

¹⁾ В принципе, возможны обобщения теории на несимметричные системы отношений, однако пока такие обобщения не рассматривались.

тот же самый вид¹⁾. В ходе дальнейшего изложения используется термин *бинарные системы комплексных отношений*, или сокращенно — (БСКО).

В аксиоматике геометрии, как известно, всегда подразумевается блок неявно заданных аксиом арифметики. Именно там заложено понятие вещественных чисел. В частности, вещественные числа тесно связаны с аксиомой Архимеда, позволяющей сравнивать два отрезка, вводить понятия «больше» или «меньше». Квантовая механика и вообще закономерности микромира описываются на основе комплексных чисел, поскольку для комплексных чисел нельзя сказать, какое из них больше или меньше.

В этой связи напомним позицию Р. Пенроуза. При обсуждении оснований физики и своей теории твисторов он говорил о «магии комплексных чисел»: «Особая магия этих чисел проявляется не только в математике, но и сама Природа использует эту магию в устройстве Вселенной на самых глубоких уровнях. Можно задаться вопросом: действительно ли это является особенностью нашего мира, или просто эти числа настолько полезны в математическом отношении, что находят широкое применение в физической теории. Многие физики, я полагаю, склоняются ко второму варианту. Но тогда им придется объяснить, почему оказывается столь универсальной роль этих чисел в квантовой теории, где они лежат в основе фундаментального принципа квантовой суперпозиции и в несколько ином облике в основе уравнений Шредингера, условия положительной частоты и бесконечномерной «комплексной структуры», которая появляется в квантовой теории поля. Таким физикам вещественные числа кажутся «естественными», а комплексные — «тайными». Однако с чисто математической точки зрения вещественные числа ничуть не «естественнее» комплексных. Учитывая несколько магический математический статус комплексных чисел, вполне можно занять противоположную позицию и считать их более «естественными» (или, если угодно, «данными Богом»), нежели вещественные числа» [127, с. 855].

В другом месте Пенроуз пишет: «Комплексные числа представляются (по крайней мере на нашем современном уровне понимания) весьма важным составным элементом структуры физических законов. Теория твисторов распространяет этот тезис далее, выдвигая предположение о возможной тесной связи комплексных чисел с определением природы самого пространства-времени» [163, с. 134].

7. Прообразом классического тела отсчета в бинарной геометрофизике выступает **система эталонных элементов** или, иначе говоря,

¹⁾Однако теперь, строго говоря, следовало бы заново доказать теоремы единственности используемых законов.

элементарный базис БСКО. Как уже отмечалось в разделе 14.4.1, из отношений элементов к набору эталонных элементов определяются *параметры элементов, являющиеся аналогами понятий координат в обычной геометрии*. Чтобы к ним прийти, в законе (15.3.2) нужно выделить $r - 1$ элементов множества M и $r - 1$ элементов множества N и считать их *базисными или эталонными* (см. рис. 14.3). Отношения между эталонными элементами можно считать раз и навсегда заданными.

Таким образом осуществляется замена понятия макроприбора m в обозначении квантовой теории $R_m(\mu)$ на его аналог — элементарный базис μ в символе бинарной геометрофизики $R_\mu(\mu)$.

8. В бинарной геометрофизике ключевую роль играют миноры максимального порядка в законе БСКО (15.3.2), т. е. в общем случае отличные от нуля определители порядка $(r - 1)$. Они называются **фундаментальными** $(r - 1) \times (r - 1)$ -**отношениями** и для них принято специальное обозначение в виде двух этажей из символов двух групп элементов первого и второго множеств, заключенных в квадратные скобки. Можно показать, что в БСКО произвольного ранга (r,r) фундаментальные отношения обладают замечательным свойством:

$$\begin{bmatrix} \alpha \beta \dots \\ i k \dots \end{bmatrix} \equiv \begin{vmatrix} u_{i\alpha} & u_{i\beta} & \dots \\ u_{k\alpha} & u_{k\beta} & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} i^1 & k^1 & \dots \\ i^2 & k^2 & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \alpha^1 & \beta^1 & \dots \\ \alpha^2 & \beta^2 & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{vmatrix}, \quad (15.3.3)$$

т. е. записываются через произведения из определителей, составленных из параметров одного сорта. Забегая вперед, отметим, что *специальные комбинации из фундаментальных отношений определяют прообраз действия (лагранжиана) пары взаимодействующих частиц*.

Легко видеть, что элементарный базис характеризуется именно фундаментальным $(r - 1) \times (r - 1)$ -отношением. Как и в классической физике, в бинарной геометрофизике используются привилегированные элементарные базисы, т. е. удовлетворяющие специальным условиям.

9. Можно показать, что в бинарной геометрофизике переходы от одного элементарного базиса к другому описываются линейными преобразованиями параметров двух множеств:

$$i'^s = C_r^s i^r; \quad \alpha'^s = \overset{*}{C}_r^s \alpha^r, \quad (15.3.4)$$

где C_r^s и $\overset{*}{C}_r^s$ — коэффициенты, определяющие класс используемых бинарных систем отношений (эталонных элементов). Следует ограничиться случаем, когда элементы двух множеств преобразуются при помощи комплексно сопряженных коэффициентов.

Как и в специальной теории относительности, в бинарной геометрофизике выделяется класс линейных преобразований, соответствующий переходам между привилегированными элементарными базисами. Они характеризуются условиями, что при этих преобразованиях остаются неизменными (инвариантными) каждый из определителей справа в фундаментальном $(r - 1) \times (r - 1)$ отношении (15.3.3). Легко показать, что такие преобразования составляют $2r(r - 2)$ -параметрическую группу $SL(r - 1, C)$.

10. Более подробно остановимся на выборе необходимого ранга БСКО. Естественно ожидать, что главную роль в теории играют БСКО минимальных рангов: $(2, 2)$, $(3, 3)$, $(4, 4)$, Поиск необходимого для описания физики ранга осуществлялся методом индукции, т. е. последовательно изучались возможности моделей бинарной геометрофизики на основе БСКО, начиная с рангов $(2, 2)$ и $(3, 3)$ и далее более высоких рангов $(4, 4)$, $(5, 5)$, $(6, 6)$.

С помощью БСКО рангов $(2, 2)$ и $(3, 3)$ строится идеализированная модель, описывающая свободные (невзаимодействующие) простейшие элементарные частицы — лептоны. Эта модель составляет основу для построения прообраза классического пространства-времени. Для описания взаимодействующих частиц необходимо использовать БСКО более высоких рангов $(4, 4)$ или $(6, 6)$. При этом оказалось, что БСКО ранга $(4, 4)$ представляет собой простейшую модель, позволяющую описать электромагнитные взаимодействия лептонов. Эта модель является прямым аналогом 5-мерной (унарной) геометрической модели типа теории Калуцы.

Для полного описания известных закономерностей физики необходимо использовать БСКО ранга $(6, 6)$. Следует отметить, что выделенное число 6 включает в себя двоичность и троичность, характерные для метафизики. На основе БСКО ранга $(6, 6)$ оказалось возможным описать как прообраз сильных взаимодействий адронов, так и электрослабые взаимодействия лептонов и адронов в общем виде.

11. Каждый элемент БСКО ранга $(6, 6)$ характеризуется $r - 1 = 5$ параметрами. Анализ показал, что для описания физической реальности необходимо произвести $5 = 2 + 3$ -расщепление параметров на две части, где первые два параметра (с индексами 1 и 2), названные *внешними*, следует использовать для описания компонент 4-мерного импульса (скорости) частиц, а три оставшиеся (с индексами 3, 4 и 5), названные *внутренними*, должны определять, как и в многомерных геометрических моделях, заряды элементарных частиц. Это разделение соответствует процедурам $n = 4+1+1+\dots$ -расщеплению в многомерных геометрических моделях физических взаимодействий.

Названное разделение фактически означает расщепление исходной БСКО ранга $(6, 6)$ на две подсистемы: БСКО ранга $(3, 3)$ (с двумя

параметрами) и БСКО ранга (4,4) (с тремя параметрами). В результате расщепления исходная группа преобразований $SL(5, C)$ в БСКО ранга (6,6) сужается до произведения двух подгрупп: $SL(2, C)$ — для внешних параметров и $SL(3, C)$ (или более узкой группы $SU(3)$) — для внутренних параметров.

Перечисленные понятия и факторы лежат в основе теории, последовательно развивающей принципы аристотелевского триединства (монистической парадигмы). В следующих разделах этой главы показано, как на самом элементарном уровне бинарной геометрофизики проявляются истоки свойств трех ключевых физических категорий триалистической парадигмы: классического пространства-времени, частиц и полей переносчиков взаимодействий.

15.4. Истоки 4-мерности и сигнатуры классического пространства-времени

Понятия БСКО низших рангов фактически уже давно используются в теоретической физике. В частности, понятие *спина элементарных частиц и теория 2-компонентных спиноров*, оказывается, возникают в рамках БСКО минимального невырожденного ранга (3,3). Поясним это утверждение. Согласно общей теории бинарных систем отношений, закон БСКО ранга (3,3) имеет вид

$$\Phi = \begin{vmatrix} u_{i\alpha} & u_{i\beta} & u_{i\gamma} \\ u_{k\alpha} & u_{k\beta} & u_{k\gamma} \\ u_{j\alpha} & u_{j\beta} & u_{j\gamma} \end{vmatrix} = 0, \quad (15.4.1)$$

где парные отношения

$$u_{i\alpha} = i^1 \alpha^1 + i^2 \alpha^2 \quad (15.4.2)$$

определяются двумя парами комплексных параметров i^1, i^2 (начальное состояние) и α^1, α^2 (конечное состояние).

Возьмем фундаментальное 2×2 -отношение, которое, согласно (15.3.3), представляется в виде

$$\begin{vmatrix} u_{i\alpha} & u_{i\beta} \\ u_{k\alpha} & u_{k\beta} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} i^1 & k^1 \\ i^2 & k^2 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \alpha^1 & \beta^1 \\ \alpha^2 & \beta^2 \end{vmatrix} \equiv \begin{bmatrix} \alpha\beta \\ ik \end{bmatrix}. \quad (15.4.3)$$

Ограничимся рассмотрением лишь таких элементарных базисов, которые связаны линейными преобразованиями (15.3.4), оставляющими инвариантными (неизменными) каждый из определителей справа в (15.4.3), т. е.

$$\begin{vmatrix} i^1 & k^1 \\ i^2 & k^2 \end{vmatrix} = i^1 k^2 - i^2 k^1 = Inv; \quad \alpha^1 \beta^2 - \alpha^2 \beta^1 = Inv. \quad (15.4.4)$$

Эти выражения можно понимать как антисимметричные метрики в каждом из двух множеств (пространств) БСКО ранга (3,3). Но если вспомнить определение 2-компонентных спиноров как 2-мерных комплексных векторов, для которых определена инвариантная антисимметричная квадратичная форма (метрика), то станет ясно, что элементы БСКО ранга (3,3) с условием (15.4.4) описываются 2-компонентными спинорами.

Обратим внимание на тот факт, что в исходных положениях бинарной геометрофизики определены отношения — прообраз своеобразной метрики — лишь между элементами двух различных множеств M и N и не было отношений внутри каждого из множеств. Однако в (15.4.4) возникли антисимметричные метрики внутри каждого из множеств, можно сказать, «наведенные» отношениями с элементами противоположного множества. Таким образом, можно утверждать, что теория 2-компонентных спиноров является следствием БСКО ранга (3,3).

Коэффициенты линейных преобразований (15.3.3), оставляющих инвариантными антисимметричные формы (15.4.4), удовлетворяют условию $C_1^1 C_2^2 - C_1^2 C_2^1 = 1$. Следовательно, на четыре комплексных коэффициента C_r^s наложено два вещественных условия. Эти преобразования, связывающие выделенный класс базисных элементов, образуют 6-параметрическую группу $SL(2, C)$, соответствующую группе Лоренца.

Преобразования (15.3.3), одновременно сохраняющие инвариантными как антисимметричные формы (15.4.4), так и парные отношения $a_{i\alpha}$ в (15.4.2), образуют 3-параметрическую группу $SU(2)$, соответствующую вращениям в 3-мерном пространстве.

Напомним, что в общепринятой теории к спинорам приходят, исходя из плоского 4-мерного пространства-времени с соответствующей ему группой Лоренца, а на основе алгебр Клиффорда над полем вещественных чисел можно определить спиноры в пространствах любой размерности и сигнатуры. Но можно рассуждать и в обратном направлении: если задан вид спиноров, то сразу же можно сказать о размерности и сигнатуре многообразия, в котором определены эти спиноры. Учитывая, что в нашем случае массивные частицы описываются парой 2-компонентных спиноров, приходим к выводу, что таким образом уже заложены основы 4-мерности теории с сигнатурой $(+ - - -)$. Другими словами, можно утверждать, что **размерность (4-мерность) и сигнатура классического пространства-времени обусловлены бинарной системой комплексных отношений минимального невырожденного ранга (3,3)**.

В связи с данным выводом сделаем два замечания.

1. В близкой по преследуемым целям твисторной программе Пенроуза 4-мерие и сигнатаура пространства-времени автоматически

следуют из основного постулата теории — из определения твистора. В бинарной геометрофизике спинорность получается как следствие при рассмотрении упрощенной (идеализированной) модели на основе БСКО ранга (3,3). В нашем подходе предлагается рассматривать БСКО и более высокого ранга, в которых возникают обобщенные (финслеровы) спиноры.

2. В известной монографии Ч. Мизнера, К. Торна и Дж. Уилера «Гравитация» ставился «вопрос о том, можно ли построить геометрию с помощью квантового принципа из основных элементов, которые сами по себе не обладают какой-либо определенной размерностью. В центре внимания дискуссии, которая проходила в 1964 г., была «размерность без размерности». Однако основными причинами, заставляющими размышлять о предгеометрии, были и остаются две характерные особенности природы: спин $1/2$ и заряд, говорящие сами за себя во весь голос в любой области физики элементарных частиц» [109, с. 474].

В бинарной геометрофизике фактически решается поставленный выше вопрос. **Размерность вводится не как топологическое свойство непрерывного многообразия, а алгебраически — через ранг закона БСКО**, т. е. размерность определяется числами элементов, связанных в законе.

Однако от алгебраических понятий БСКО ранга (3,3) до 4-мерного координатного пространства-времени путь не близкий. Этот вопрос более подробно рассмотрен в следующей главе. Здесь же отметим, что от БСКО ранга (3,3) можно перейти к унарным системам вещественных отношений, соответствующим общепринятым геометриям, несколькими способами. Переход к прообразу пространственно-временных отношений осуществляется склейкой пар элементов (по одному из каждого множества) так, как это пояснено на рис. 14.5. Другой способ перехода к унарным системам вещественных отношений основан на спивке двух пар элементов (по два элемента в каждом из множеств) так, как это изображено на рис. 15.2. Он соответствует переходу к унарной геометрии Лобачевского, физически интерпретируемой как пространство скоростей частиц.

В верхней части рисунка изображены четверки сопряженных элементов из двух множеств БСКО ранга (3,3), а в нижней части — сопоставленные с ними элементы одного нового множества M' .

Из параметров пар элементов — двух 2-компонентных спиноров — по обычным правилам строятся 4-мерные векторы, физически интерпретируемые как скорости (или импульса) массивных частиц. Так, компоненты 4-скорости частицы, описываемой элементами i и k в начальном состоянии и α и β в конечном состоянии, записываются следующим

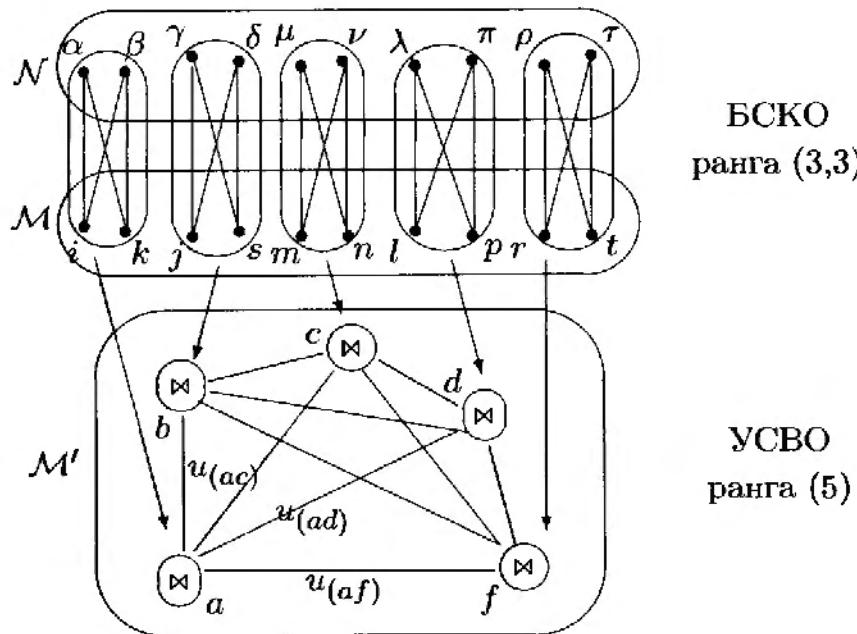


Рис. 15.2. Переход от БСКО ранга (3,3) к УСВО ранга (5)

образом:

$$\begin{aligned} u^0 &= \frac{1}{2}(i^1\alpha^1 + i^2\alpha^2 + k^1\beta^1 + k^2\beta^2); \\ u^1 &= \frac{1}{2}(i^1\alpha^2 + i^2\alpha^1 + k^1\beta^2 + k^2\beta^1); \\ u^2 &= \frac{i}{2}(i^1\alpha^2 - i^2\alpha^1 + k^1\beta^2 - k^2\beta^1); \\ u^3 &= \frac{1}{2}(i^1\alpha^1 - i^2\alpha^2 + k^1\beta^1 - k^2\beta^2). \end{aligned} \quad (15.4.5)$$

Очевидно, компоненты вектора в (15.4.5) являются вещественными, если параметры элементов α и β комплексно сопряжены параметрам элементов i и k . Именно компоненты u^μ физически интерпретируются.

Близкие по смыслу проблемы имеются как в общепринятой квантовой теории, так и в общей теории относительности. Напомним, в квантовой теории переход от комплексных волновых функций к наблюдаемым величинам (импульсам, координатам и т. д.) осуществляется с помощью эрмитовых операторов, имеющих вещественные собственные значения. В общей теории относительности переход от тензорных величин, зависящих от произвола в выборе координатной системы, к наблюдаемым величинам производится посредством проецирования на направления используемых систем отсчета. (В ОТО истинно наблюдаемыми являются лишь скаляры.) В случае БСКО ранга (3,3) аналогом указанных процедур является *переход от БСКО к УСВО* путем соответствующей «спинки» элементов двух множеств в объекты (элементы) одного сорта. Таким образом, в бинарной геометрофизике появляются и УСВО, однако они имеют вторичный характер.

В полученной описанным способом УСВО парные отношения между склеенными четверками элементов определяются в виде обычного скалярного произведения двух 4-мерных векторов. Так, пусть один вектор $u_{(1)}^\mu$ определяется элементами i, k, α, β БСКО ранга (3,3), а второй вектор $u_{(2)}^\mu$ определяется элементами j, s, γ, δ , тогда легко показать, что их произведение (парное отношение УСВО ранга (5)) следующим образом записывается через сумму четырех фундаментальных 2×2 -отношений исходной БСКО ранга (3,3):

$$u_{(1)}^\mu u_{(2)\mu} = \frac{1}{2} \left(\begin{bmatrix} \alpha\gamma \\ ij \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \alpha\delta \\ is \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \beta\gamma \\ kj \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \beta\delta \\ ks \end{bmatrix} \right). \quad (15.4.6)$$

В этом разделе упомянуты лишь самые существенные положения БСКО ранга (3,3), в рамках которой описываются *идеализированные, невзаимодействующие частицы*.

15.5. Элементарные частицы

В бинарной геометрофизике *взаимодействующие частицы* описываются БСКО ранга (6,6), а состояния элементарных частиц (лептонов и кварков) характеризуются тройками элементов в каждом из двух множеств \mathcal{M} и \mathcal{N} БСКО. (Эти тройки элементов для случая барионов специальным образом могут быть поставлены в соответствие с общепринятыми кварками.) Поскольку каждый элемент характеризуется 5 компонентами, то, согласно данному определению, состояния каждой частицы описывается прямоугольной 3×5 -матрицей. Так, если частица B в начальном состоянии описывается тройкой элементов i, k, j , то ей соответствует матрица:

$$B(ikj) \rightarrow \begin{pmatrix} i^1 & k^1 & j^1 \\ i^2 & k^2 & j^2 \\ \hline i^3 & k^3 & j^3 \\ i^4 & k^4 & j^4 \\ i^5 & k^5 & j^5 \end{pmatrix}. \quad (15.5.1)$$

Упомянутое выше 2+3-расщепление параметров элементов БСКО ранга (6,6) на внешние и внутренние отображено горизонтальной линией, разделяющей исходную 3×5 -матрицу на прямоугольную 3×2 -матрицу из внешних параметров и квадратную 3×3 -матрицу из внутренних (зарядовых) параметров.

В бинарной геометрофизике лептоны и барионы единообразно описываются тройками элементов. Барионы характеризуются общим случаем (15.5.1), когда все три 2-столбца из внешних параметров содержат

ненулевые компоненты, а для массивных лептонов (электронов (e)) матрица имеет тот же вид (15.5.1), однако один из верхних 2-компонентных столбцов состоит из нулевых внешних параметров. Пусть это будет третий столбец:

$$(e) \Rightarrow \begin{pmatrix} i^1 & k^1 & 0 \\ i^2 & k^2 & 0 \\ c_{(1)}^3 & c_{(2)}^3 & c_{(3)}^3 \\ c_{(1)}^4 & c_{(2)}^4 & c_{(3)}^4 \\ c_{(1)}^5 & c_{(2)}^5 & c_{(3)}^5 \end{pmatrix}; \quad (\nu) \Rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 0 & j^1 \\ 0 & 0 & j^2 \\ c_{(1)}^3 & c_{(2)}^3 & c_{(3)}^3 \\ c_{(1)}^4 & c_{(2)}^4 & c_{(3)}^4 \\ c_{(1)}^5 & c_{(2)}^5 & c_{(3)}^5 \end{pmatrix}, \quad (15.5.2)$$

где, как и ранее, верхние две строки соответствуют внешним 2-компонентным спинорам, а оставшиеся три строки — дополнительным параметрам (3-компонентным финслеровым спинорам), для которых введены новые обозначения. Для нейтрино (ν), также описываемого 3×5 -матрицей, два 2-столбца из внешних параметров являются нулевыми. Пусть это будут первые два столбца, как это записано в (15.5.2). Отметим, что число нулевых столбцов из внешних параметров является инвариантным свойством частиц относительно выделенных групп преобразований параметров.

Легко видеть, что имеются три возможности (по числу 2-компонентных столбцов из внешних параметров) для определения массивных лептонов и аналогичные им три возможности для определения нейтрино. В бинарной геометрофизике эти *три возможности интерпретируются как три поколения лептонов*.

Многие положения бинарной геометрофизики соответствуют принятым в стандартных калибровочных моделях физических взаимодействий. В рамках бинарной геометрофизики определяются барионы, кварки, лептоны и т. д. (см. [36]).

Ограничимся случаем массивных лептонов. В общепринятой теории они описываются лишь внешними параметрами. Вклады внутренних (нижних) параметров учитываются через введение зарядов частиц.

Пусть электрон (e) описывается двумя парами элементов: i, k и α, β , тогда его можно охарактеризовать в терминах, близких общепринятым в квантовой теории, т. е. 4-компонентными столбцом и строкой вида:

$$\psi \equiv \begin{pmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i^1 \\ i^2 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i^1 \\ i^2 \\ \beta^2 \\ -\beta^1 \end{pmatrix}; \quad e^\dagger = (\alpha^1, \alpha^2, k_1, k_2), \quad (15.5.3)$$

где величины с индексом снизу обозначают ковариантные компоненты спиноров.

Определяя матрицу γ^5 , можно по обычным правилам ввести левые и правые компоненты электрона, тогда парой элементов i, α описывается левая компонента электрона, а парой k, β — правая компонента. Для нейтрино, очевидно, имеется лишь одна компонента.

В стандартной квантовой теории взаимодействующие частицы также описываются 4-компонентными столбцами или строками, а вместо дополнительных параметров бинарной геометрофизики феноменологически вводятся заряды.

Очевидно, не всякая пара элементов БСКО ранга (3,3) может считаться описывающей одну и ту же идеализированную частицу. На внешние параметры элементов, характеризующих один лептоны, наложены условия связи «по горизонтали» (в одном множестве элементов) и «по вертикали» (в двух множествах). Так, для свободных лептонов условия связи по вертикали означают, что параметры двух пар элементов в двух множествах комплексно сопряжены друг другу, в согласии с правилами квантовой механики. Для электрона в (15.5.2) это означает

$$i^s = \overset{*}{\alpha}{}^s, \quad k^s = \overset{*}{\beta}{}^s, \quad \text{где } s = 1, 2. \quad (15.5.4)$$

Условия связи «по горизонтали» вытекают из двух требований [36]. Первое состоит в том, что каждый из определителей справа в фундаментальном 2×2 -отношении (15.4.3) характеризуется неким инвариантным вещественным значением, которое без ущерба для общности можно положить равным единице:

$$i^1 k^2 - i^2 k^1 = \pm 1. \quad (15.5.5)$$

Две возможности в выборе знака естественно связать с фактом существования частиц и античастиц. Пусть для частиц (электронов) знак будет положительным, тогда как для античастиц (позитронов) — отрицательным.

Второе требование связано с понятием *собственной системы отношений*, родственным классическому понятию собственной системы отсчета. Назовем собственной системой отношения электрона случай такого выбора элементарного базиса (системы эталонных элементов), при котором удовлетворяются соотношения:

$$u_{i\alpha} = u_{k\beta} = 1; \quad u_{i\beta} = u_{k\alpha} = 0, \quad (15.5.6)$$

т. е. отношения между элементами, связанными по вертикали, согласно (15.5.4), равны единице, а между несвязанными равны нулю.

Термин *собственная система отношений* оправдывается тем, что из (15.5.4)–(15.5.6) для компонент 4-скорости частицы (15.4.5) получаются значения:

$$u_{(c)}^0 = 1; \quad u_{(c)}^i = 0, \quad (15.5.7)$$

где символом (с) снизу отмечено значение величин в собственной системе отношений.

• Из соотношений (15.5.5) и (15.5.6) следуют условия связи параметров двух элементов «по горизонтали»

$$\psi_{(c)1} \equiv \begin{pmatrix} i_{(c)}^1 \\ i_{(c)}^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{(c)}^{*2} \\ -k_{(c)}^{*1} \end{pmatrix} \equiv \psi_{(c)2}, \quad (15.5.8)$$

соответствующие уравнениям Дирака в импульсном пространстве в собственной системе отношений.

Переходя из собственной системы отношений в другую посредством преобразований из 6-параметрической группы $SL(2, C)$ и заменяя параметры преобразований через скорости движения u_μ одного элементарного базиса относительно другого (что эквивалентно введению скорости движения рассматриваемой частицы), можно показать, что в произвольной системе отношений условия связи параметров частицы по горизонтали (15.5.8) записываются в виде 4-компонентного выражения

$$(\gamma^\mu p_\mu + m_0 c) \psi = 0, \quad (15.5.9)$$

соответствующего уравнению Дирака в импульсном пространстве. Здесь введен пока произвольный коэффициент m_0 , соответствующий массе покоя частицы. Кроме того, использовано обозначение $p_\mu = u_\mu m_0 c$.

Таким образом, еще до появления координатного пространства-времени и связанных с ним дифференциальных уравнений уже возможно, опираясь на изложенный материал, ввести соотношения, являющиеся прообразом уравнений Дирака в импульсном пространстве.

Легко убедиться, что для 4-мерных скоростей свободной частицы, определенных выражениями (15.4.5), имеем

$$\begin{vmatrix} u_{i\alpha} & u_{i\beta} \\ u_{k\alpha} & u_{k\beta} \end{vmatrix} \equiv \begin{bmatrix} \alpha & \beta \\ i & k \end{bmatrix} = g_{\mu\nu} u^\mu u^\nu = 1. \quad (15.5.10)$$

Умножая это выражение на $m_0^2 c^2$, получаем известные соотношения для 4-мерных импульсов.

Введя вторую частицу e_2 , описываемую параметрами: j , s , γ , δ , можно убедиться, что скалярное произведение скоростей (импульсов) двух частиц (15.4.6) представляется в общепринятой форме:

$$u_{(1)}^\mu u_{(2)\mu} = \frac{1}{4} (\bar{e}_1 \gamma^\mu e_1)(\bar{e}_2 \gamma_\mu e_2). \quad (15.5.11)$$

15.6. Бинарный объем как прообраз физического действия

Для построения содержательной теории физических взаимодействий недостаточно указать лишь строительный материал — необходимо ввести само «здание теории» с неким несущим «каркасом». В рамках теоретико-полевого миропонимания, как правило, роль «каркаса» выполняет физическое действие S или входящий в его определение лагранжиан (гамильтониан) рассматривающейся системы. В специфической формулировке квантовой механики таковым «каркасом» служит S -матрица, при геометрическом подходе опираются на метрику и скалярную кривизну. В бинарной геометрофизике в качестве прообраза трех родственных понятий физики: S -матрицы, действия (или лагранжиана) взаимодействия двух элементарных частиц, многомерной метрики — выступает так называемое базовое 6×6 -отношение, симметричным образом содержащее параметры $3 + 3 = 6$ элементов двух частиц в начальном состоянии и $3 + 3 = 6$ элементов двух частиц в конечном состоянии. Оно записывается следующим образом

$$\left\{ \begin{array}{c} \alpha \beta \gamma \delta \lambda \rho \\ i k j s l r \end{array} \right\} \equiv \left| \begin{array}{cccc|ccc} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & u_{i\alpha} & u_{i\beta} & u_{i\gamma} & u_{i\delta} & u_{i\lambda} & u_{i\rho} \\ 1 & u_{k\alpha} & u_{k\beta} & u_{k\gamma} & u_{k\delta} & u_{k\lambda} & u_{k\rho} \\ 1 & u_{j\alpha} & u_{j\beta} & u_{j\gamma} & u_{j\delta} & u_{j\lambda} & u_{j\rho} \\ 1 & u_{s\alpha} & u_{s\beta} & u_{s\gamma} & u_{s\delta} & u_{s\lambda} & u_{s\rho} \\ 1 & u_{l\alpha} & u_{l\beta} & u_{l\gamma} & u_{l\delta} & u_{l\lambda} & u_{l\rho} \\ 1 & u_{r\alpha} & u_{r\beta} & u_{r\gamma} & u_{r\delta} & u_{r\lambda} & u_{r\rho} \end{array} \right| =$$

$$= \left| \begin{array}{ccc|cc|cc} i^1 & k^1 & j^1 & s^1 & l^1 & r^1 & \alpha^1 & \beta^1 & \gamma^1 \\ i^2 & k^2 & j^2 & s^2 & l^2 & r^2 & \alpha^2 & \beta^2 & \gamma^2 \\ i^3 & k^3 & j^3 & s^3 & l^3 & r^3 & \alpha^3 & \beta^3 & \gamma^3 \\ i^4 & k^4 & j^4 & s^4 & l^4 & r^4 & \alpha^4 & \beta^4 & \gamma^4 \\ i^5 & k^5 & j^5 & s^5 & l^5 & r^5 & \alpha^5 & \beta^5 & \gamma^5 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{array} \right| \times \left| \begin{array}{ccc|cc|cc} \delta^1 & \lambda^1 & \rho^1 & \delta^2 & \lambda^2 & \rho^2 \\ \delta^3 & \lambda^3 & \rho^3 & \delta^4 & \lambda^4 & \rho^4 \\ \delta^5 & \lambda^5 & \rho^5 & 1 & 1 & 1 \end{array} \right|, \quad (15.6.1)$$

где вертикальные линии подчеркивают тот факт, что первая частица описывается элементами $i, k, j, \alpha, \beta, \gamma$, а вторая частица — элементами $s, l, r, \delta, \lambda, \rho$. Это выражение инвариантно относительно преобразований параметров из группы $SL(5, C)$ и, следовательно, инвариантно относительно ее подгруппы $SL(2, C) \times SL(3, C)$.

Физическая интерпретация базового 6×6 -отношения проиллюстрирована диаграммами рис. 15.3, где слева изображена 12-хвостка бинарной геометрофизики. Две тройки нижних линий описывают начальные состояния двух частиц, а две верхние тройки — их конечные состояния. В середине представлено обобщение диаграммы фейнмановского типа,

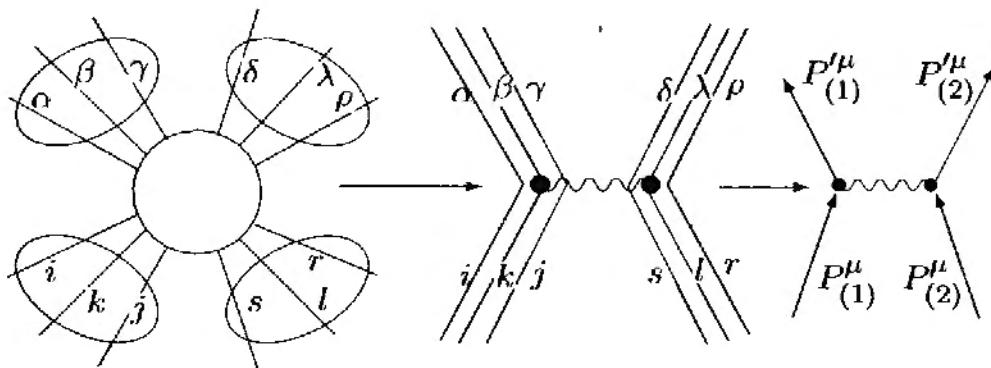


Рис. 15.3. Физическая иллюстрация базового 6×6 -отношения

а справа дана стандартная диаграмма рассеяния одной частицы на другой.

Сделаем несколько замечаний относительно базового 6×6 -отношения.

1. *Прообраз действия взаимодействия двух элементарных частиц представляет собой своеобразный объем в бинарной геометрии ранга $(6,6)$, аналогичный выражениям объема через определители (12.2.3) и (12.2.9) в унарной геометрии.*

2. *В прообразе действия, как и во всей теории, среди первичных понятий нет промежуточных бозонов (глюонов, бозонов). Взаимодействие описывается непосредственно через характеристики (параметры) частиц в духе теории прямого межчастичного взаимодействия Фоккера-Фейнмана. При желании промежуточные бозоны можно ввести как вторичные вспомогательные понятия.*

3. *Для взаимодействующих частиц уже не выполняются условия комплексного сопряжения параметров элементов двух множеств (нарушаются условия связи «по вертикали» (15.5.4)). Вводя для элементов частиц в начальных и конечных состояниях комплексно сопряженные величины и строя из них по известным формулам 4-скорости (импульсы), (15.6.1) можно привести к типичному для S-матрицы виду, содержащему характеристики (импульсы) частиц до и после взаимодействия.*

Для перехода от базового 6×6 -отношения к прообразу действия (лагранжиана) двух частиц необходимо, прежде всего, базовое 6×6 -отношение представить в редуцированном на «4-мерии» виде, когда выделены параметры с индексами 1 и 2 и итоговое выражение имеет лоренц-инвариантный ($SL(2, C)$ -инвариантный) вид. Это достигается разложением определителей справа в (15.6.1) по первым двум строкам. Перемножая их, приходим к совокупности из 225 выражений вида

$$\left\{ \begin{matrix} \alpha & \beta & \gamma & \delta & \lambda & \rho \\ i & k & j & s & l & r \end{matrix} \right\} = \sum^{225} \left[\begin{matrix} \alpha & \delta \\ i & s \end{matrix} \right] \left(\begin{matrix} \beta & \gamma & \lambda & \rho \\ k & j & l & r \end{matrix} \right), \quad (15.6.2)$$

15.6. Бинарный объем как прообраз физического действия

Для построения содержательной теории физических взаимодействий недостаточно указать лишь строительный материал — необходимо ввести само «здание теории» с неким несущим «каркасом». В рамках теоретико-полевого миропонимания, как правило, роль «каркаса» выполняет физическое действие S или входящий в его определение лагранжиан (гамильтониан) рассматривающейся системы. В специфической формулировке квантовой механики таковым «каркасом» служит S -матрица, при геометрическом подходе опираются на метрику и скалярную кривизну. В бинарной геометрофизике в качестве прообраза трех родственных понятий физики: S -матрицы, действия (или лагранжиана) взаимодействия двух элементарных частиц, многомерной метрики — выступает так называемое базовое 6×6 -отношение, симметричным образом содержащее параметры $3 + 3 = 6$ элементов двух частиц в начальном состоянии и $3 + 3 = 6$ элементов двух частиц в конечном состоянии. Оно записывается следующим образом

$$\begin{aligned}
 & \left\{ \begin{array}{cccccc} \alpha & \beta & \gamma & \delta & \lambda & \rho \end{array} \right\}_{i k j s l r} \equiv \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & u_{i\alpha} & u_{i\beta} & u_{i\gamma} & u_{i\delta} & u_{i\lambda} & u_{i\rho} \\ 1 & u_{k\alpha} & u_{k\beta} & u_{k\gamma} & u_{k\delta} & u_{k\lambda} & u_{k\rho} \\ 1 & u_{j\alpha} & u_{j\beta} & u_{j\gamma} & u_{j\delta} & u_{j\lambda} & u_{j\rho} \\ 1 & u_{s\alpha} & u_{s\beta} & u_{s\gamma} & u_{s\delta} & u_{s\lambda} & u_{s\rho} \\ 1 & u_{l\alpha} & u_{l\beta} & u_{l\gamma} & u_{l\delta} & u_{l\lambda} & u_{l\rho} \\ 1 & u_{r\alpha} & u_{r\beta} & u_{r\gamma} & u_{r\delta} & u_{r\lambda} & u_{r\rho} \end{array} \right| = \\
 & = \begin{vmatrix} i^1 & k^1 & j^1 & s^1 & l^1 & r^1 \\ i^2 & k^2 & j^2 & s^2 & l^2 & r^2 \\ i^3 & k^3 & j^3 & s^3 & l^3 & r^3 \\ i^4 & k^4 & j^4 & s^4 & l^4 & r^4 \\ i^5 & k^5 & j^5 & s^5 & l^5 & r^5 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \alpha^1 & \beta^1 & \gamma^1 & \delta^1 & \lambda^1 & \rho^1 \\ \alpha^2 & \beta^2 & \gamma^2 & \delta^2 & \lambda^2 & \rho^2 \\ \alpha^3 & \beta^3 & \gamma^3 & \delta^3 & \lambda^3 & \rho^3 \\ \alpha^4 & \beta^4 & \gamma^4 & \delta^4 & \lambda^4 & \rho^4 \\ \alpha^5 & \beta^5 & \gamma^5 & \delta^5 & \lambda^5 & \rho^5 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}, \quad (15.6.1)
 \end{aligned}$$

где вертикальные линии подчеркивают тот факт, что первая частица описывается элементами $i, k, j, \alpha, \beta, \gamma$, а вторая частица — элементами $s, l, r, \delta, \lambda, \rho$. Это выражение инвариантно относительно преобразований параметров из группы $SL(5, C)$ и, следовательно, инвариантно относительно ее подгруппы $SL(2, C) \times SL(3, C)$.

Физическая интерпретация базового 6×6 -отношения проиллюстрирована диаграммами рис. 15.3, где слева изображена 12-хвостка бинарной геометрофизики. Две тройки нижних линий описывают начальные состояния двух частиц, а две верхние тройки — их конечные состояния. В середине представлено обобщение диаграммы фейнмановского типа,

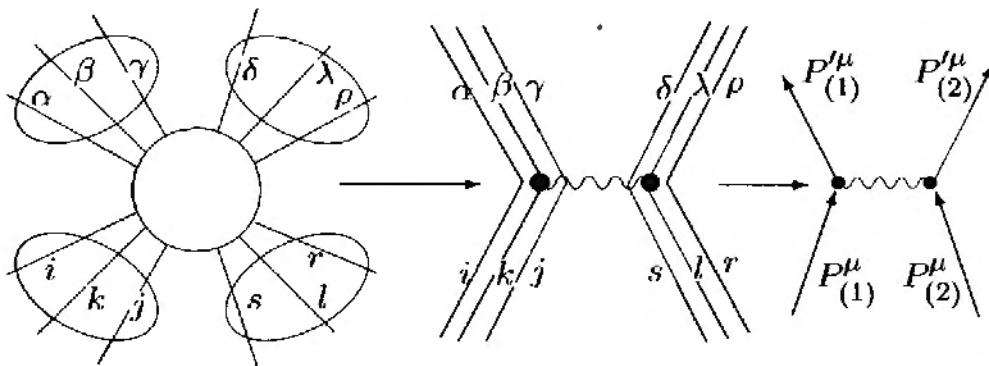


Рис. 15.3. Физическая иллюстрация базового 6×6 -отношения

а справа дана стандартная диаграмма рассеяния одной частицы на другой.

Сделаем несколько замечаний относительно базового 6×6 -отношения.

1. *Прообраз действия взаимодействия двух элементарных частиц представляет собой своеобразный объем в бинарной геометрии ранга (6,6), аналогичный выражениям объема через определители (12.2.3) и (12.2.9) в унарной геометрии.*

2. *В прообразе действия, как и во всей теории, среди первичных понятий нет промежуточных бозонов (глюонов, бозонов). Взаимодействие описывается непосредственно через характеристики (параметры) частиц в духе теории прямого межчастичного взаимодействия Фоккера—Фейнмана. При желании промежуточные бозоны можно ввести как вторичные вспомогательные понятия.*

3. *Для взаимодействующих частиц уже не выполняются условия комплексного сопряжения параметров элементов двух множеств (нарушаются условия связи «по вертикали» (15.5.4)). Вводя для элементов частиц в начальных и конечных состояниях комплексно сопряженные величины и строя из них по известным формулам 4-скорости (импульсы), (15.6.1) можно привести к типичному для S-матрицы виду, содержащему характеристики (импульсы) частиц до и после взаимодействия.*

Для перехода от базового 6×6 -отношения к прообразу действия (лагранжиана) двух частиц необходимо, прежде всего, базовое 6×6 -отношение представить в редуцированном на «4-мерие» виде, когда выделены параметры с индексами 1 и 2 и итоговое выражение имеет лоренц-инвариантный ($SL(2, C)$ -инвариантный) вид. Это достигается разложением определителей справа в (15.6.1) по первым двум строкам. Перемножая их, приходим к совокупности из 225 выражений вида

$$\left\{ \begin{matrix} \alpha & \beta & \gamma & \delta & \lambda & \rho \\ i & k & j & s & l & r \end{matrix} \right\} = \sum^{225} \left[\begin{matrix} \alpha & \delta \\ i & s \end{matrix} \right] \left(\begin{matrix} \beta & \gamma & \lambda & \rho \\ k & j & l & r \end{matrix} \right), \quad (15.6.2)$$

где квадратными скобками отмечены фундаментальные 2×2 -отношения, построенные из параметров с индексами 1 и 2, а круглыми скобками отмечены комбинации из внутренних параметров вида

$$\left(\begin{array}{c} \beta \gamma \lambda \rho \\ k j l r \end{array} \right) = \left| \begin{array}{cc|cc} k^3 & j^3 & l^3 & r^3 \\ k^4 & j^4 & l^4 & r^4 \\ k^5 & j^5 & l^5 & r^5 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{array} \right| \times \left| \begin{array}{cc|cc} \beta^3 & \gamma^3 & \lambda^3 & \rho^3 \\ \beta^4 & \gamma^4 & \lambda^4 & \rho^4 \\ \beta^5 & \gamma^5 & \lambda^5 & \rho^5 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{array} \right|. \quad (15.6.3)$$

Сумму из 225 слагаемых вида (15.6.2) следует разбить на 9 подмножеств (блоков), которые удобно изобразить в виде блоков 15×15 -матрицы, выделенных горизонтальными и вертикальными линиями:

$$\left\{ \begin{array}{c} \alpha \beta \gamma \delta \lambda \rho \\ i k j s l r \end{array} \right\} = \left(\begin{array}{ccc|cccccc|ccc} \star & \star & \star & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \star & \star & \star \\ \star & \star & \star & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \star & \star & \star \\ \star & \star & \star & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \star & \star & \star \\ \hline \cdot & \cdot & \cdot & \star & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \star & \cdot & \star & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \star & \cdot & \cdot & \star & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \star & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \star & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \star & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \star & \cdot & \cdot \\ \hline \star & \star & \star & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \star & \star & \star \\ \star & \star & \star & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \star & \star & \star \\ \star & \star & \star & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \star & \star & \star \end{array} \right) \equiv$$

$$\equiv \left(\begin{array}{c|c|c} M(4, 0) & +M(3, 1) & +M[(2)(2)]+ \\ \hline +M(3, 1) & +M(2, 2) & +M(1, 3)+ \\ \hline +M[(2), (2)] & +M(1, 3) & +M(0, 4) \end{array} \right), \quad (15.6.4)$$

где отдельные слагаемые обозначены точками или звездочками. Последними отмечены слагаемые, представляющие наибольший интерес в данной теории (при специальном порядке слагаемых).

Блоки различаются характером фундаментальных 2×2 -отношений. Средний 9×9 -блок содержит слагаемые вида $\left[\begin{array}{c|c} \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \end{array} \right]$, где вертикальная черта разделяет параметры, характеризующие две частицы. Такие слагаемые описывают вектор-векторные взаимодействия двух частиц, которые соответствуют взаимодействиям через промежуточные векторные бозоны (глюоны, фотоны, Z- или W-бозоны) в калибровочной теории.

Левый нижний и правый верхний 3×3 -блоки $M[(2), (2)]$ состоят из слагаемых вида $\left[\begin{array}{c} \cdot \\ \cdot \end{array} \right]$, где горизонтальная черта разделяет параметры,

характеризующие две частицы. Такие слагаемые описывают скалярные взаимодействия двух частиц. Они соответствуют хиггсовским скалярным бозонам в модели электрослабых взаимодействий Вайнберга—Салама—Глэшоу. Эти блоки следует назвать массовыми. Диагональные левый верхний $M(4,0)$ и правый нижний блоки $M(0,4)$ состоят из слагаемых, содержащих внешние параметры лишь одной из частиц. Они соответствуют «свободным» частицам в общепринятой теории (более подробно см. в [36]).

В оставшихся четырех крайних 3×9 - и 9×3 -блоках находятся слагаемые, содержащие по три параметра одной частицы и один параметр другой частицы. Имеются критерии, позволяющие исключить вклады таких слагаемых.

Поскольку все слагаемые базового 6×6 -отношения записываются через определители вида (15.4.3) и (15.6.3), которые обращаются в нуль при одинаковых столбцах, то очевидно, что отличные от нуля выражения получаются лишь в случаях, если взаимодействующие частицы характеризуются разными значениями параметров. Это приводит к необходимости постулата об **обменном характере физических взаимодействий** элементарных частиц. Это относится как к внешним, так и особенно к внутренним параметрам, поскольку из них строятся дискретные значения зарядов взаимодействующих частиц. Названный постулат означает, что по значениям внутренних параметров частицы могут находиться в двух видах состояний: в U -состоянии («нормальном») или в одном из V -состояний («возбужденных»). Процесс взаимодействия частиц, в частности, состоит в обмене частицами своими внутренними состояниями.

Отметим, что постулат об обменном характере взаимодействий вполне соответствует общепринятым представлениям в теории поля, где взаимодействующие частицы обмениваются промежуточными бозонами, что отражается диаграммами фейнмановского типа. Очевидно также, что атомы, находящиеся в одном и том же квантовом состоянии, не будут обмениваться фотонами. В более глобальном смысле о подобном обменном механизме писал и Р. Пенроуз в рамках своей твисторной программы, только там имелся в виду обмен спинами частиц.

15.7. Истоки категории полей промежуточных бозонов

1. Как уже отмечалось, в данном подходе, соответствующем концепции дальнодействия (Фоккера—Фейнмана), среди первичных понятий нет промежуточных переносчиков взаимодействий (векторных бозонов). В реляционном подходе им могут соответствовать лишь характеристики взаимодействующих частиц. В данном случае таковыми могут быть только параметры элементов, определяющих частицы. Более того, поскольку в рамках калибровочной теории поля уже установлен вполне определенный набор промежуточных векторных бозонов, переносящих взаимодействия, то в данном реляционном подходе ему должен быть сопоставлен дискретный набор внутренних параметров, характеризующих состояния элементарных частиц.

2. Естественно предположить, что частицы по внутренним параметрам могут находиться в двух видах состояний: в U -состоянии («нормальном») или в одном из V -состояний («возбужденных»). Процесс взаимодействия двух частиц должен сопровождаться обменом их состояниями по внутренним параметрам. Положим, что U -состояние неким образом выделено и является единственным, тогда как V -состояний может быть несколько, причем их количество должно соответствовать известному набору (из теории поля) промежуточных векторных бозонов. Следовательно, необходимо найти некие инвариантные критерии определения состояний, которые можно было бы сопоставить 8 глюонам, «переносящим» сильные взаимодействия (трем парам заряженных глюонов $X_\mu^\pm, Y_\mu^\pm, Z_\mu^\pm$ и двум нейтральным А- и В-глюонам) и 4 промежуточным бозонам, «переносящим» электрослабые взаимодействия (одной паре заряженных W_μ^\pm -бозонов и двум нейтральным бозонам: фотону A_μ и Z_μ -бозону).

3. Прежде чем охарактеризовать внутренние параметры, соответствующие названным 12 видам промежуточных векторных бозонов, отметим, что в бинарной геометрофизике используется существенно иной взгляд на соотношение сильных и электрослабых взаимодействий. В общепринятой калибровочной теории поля для описания взаимодействий фактически используются три вида пространств: 1) внешнее, соответствующее классическому 4-мерному пространству-времени с группой преобразований Лоренца (с группой $SL(2, C)$), 2) внутреннее пространство электрослабых взаимодействий, в котором имеет место группа $SU(2) \times U(1)$ и 3) внутреннее (хроматическое) пространство сильных взаимодействий с группой $SU(3)$. Теория строится по принципу композиции этих пространств, который можно назвать *принципом «кубиков»*.

В бинарной геометрофизике предлагается более экономный подход, основанный на понимании электрослабых и сильных взаимодействий как разных частных случаев единого обобщенного взаимодействия. Переход к электрослабым взаимодействиям осуществляется из общего случая фиксированием одной из строк внутренних параметров в (15.5.1) (пусть это будет строка параметров с индексом 5), когда группа $SL(3, C)$ (или $SU(3)$) допустимых преобразований внутренних параметров сужается до подгруппы $SL(2, C)$ (или $SU(2)$) внутренних параметров с индексами 3 и 4.

4. Поскольку внутренние параметры составляют нижние 3×3 -матрицы в определении частиц (15.5.1), то необходимые критерии состояний следует искать в свойствах этих матриц в целом.

Так, «нормальное» или U -состояние будем характеризовать отличным от нуля 3×3 -определителем из внутренних параметров.

V -состояния следуют разбить на два класса: на невырожденные V_C -состояния, характеризуемые отличными от нуля определителями 3×3 -матриц из внутренних параметров, и на вырожденные V_N -состояния, для которых определители из внутренних параметров равны нулю. Анализ показал (см. [33, 36]), что возможные V_N -состояния как в сильных, так и в электрослабых взаимодействиях можно ввести на основе алгебраической классификации 3×3 -матриц из внутренних параметров, соответствующей алгебраической классификации Петрова пространств Эйнштейна в общей теории относительности.

5. V_C -Состояния (заряженные) можно определить изменениями знака одного из трех столбцов из внутренних параметров U -состояния. Всего имеется три такие возможности (три канала), которые в соответствии с номером столбца с измененным знаком назовем V_X - $, V_Y$ - и V_Z -состояниями. Можно показать, что для этих V_C -состояний отличными от нуля оказываются только три пары слагаемых в $M(2, 2)$ -матрице, расположенных в ее 3×3 -блоках аналогично отличным от нуля элементам в 6 недиагональных матрицах Гелл-Манна λ_n . Такие слагаемые соответствуют в калибровочной теории поля взаимодействиям через заряженные векторные бозоны.

6. V_N -Состояния (нейтральные) можно охарактеризовать тем, что в них пара или все три столбца из внутренних параметров коллинеарны. В простейшем случае можно положить, что все три вектора (столбца) $\vec{c}_{(s)}$, где $s = 1, 2, 3$, коллинеарны, т. е. представимы в виде $\vec{c}_{(s)} = C'_s \vec{c}$, где \vec{c} — некоторый 3 -вектор, и C'_s — три коэффициента.

Можно показать, что в диагональных слагаемых подматрицы $M(2, 2)$ коэффициенты C'_s входят только в виде разностей, т. е. независимыми являются лишь две комбинации из них. В качестве таковых

можно выбрать следующие две:

$$C' = \frac{1}{2} (C'_1 + C'_2 - 2C'_3); \quad \tilde{C}' = -\frac{1}{2} (C'_1 - C'_2). \quad (15.7.1)$$

Два частных случая: А) $C' \neq 0$; $\tilde{C}' = 0$; и В) $C' = 0$; $\tilde{C}' \neq 0$ определяют два канала: А-канал с соответствующим V_A -состоянием и В-канал с соответствующим V_B -состоянием, которые следует сопоставить с двумя каналами взаимодействий через нейтральные векторные бозоны в калибровочной теории. Две комбинации из коэффициентов в (15.7.1) соответствуют двум диагональным матрицам Гелл-Манна: λ_3 и λ_8 в стандартном представлении.

Приведенные рассуждения характеризуют суть пяти каналов (трех заряженных и двух нейтральных) в известных видах физических взаимодействий.

7. Имеется три возможности усечения общей теории на случай электрослабых взаимодействий, которые соответствуют наличию трех поколений элементарных частиц. Оказывается, в усеченной теории сохраняют силу изложенные выше соображения о двух типах взаимодействий — аналогах взаимодействий через заряженные и нейтральные векторные бозоны, с той разницей, что для одного поколения частиц из трех каналов V_C выживает только один, соответствующий взаимодействиям лишь через одну пару заряженных векторных бозонов.

В итоге приходим к соответствуанию каналов («полей промежуточных бозонов») в сильных и электрослабых взаимодействиях. Электромагнитные взаимодействия находятся в некотором соответствии с сильными взаимодействиями через нейтральные A -глюоны, слабые взаимодействия через нейтральные векторные Z -бозоны соответствуют сильным взаимодействиям через нейтральные B -глюоны, а электрослабые взаимодействия через заряженные векторные W^\pm -бозоны — сильным взаимодействиям через одну из пар заряженных векторных глюонов (пусть таковыми будут X^\pm -глюоны).

Отметим, что нечто аналогичное можно усмотреть и в многомерных геометрических моделях физических взаимодействий. При обсуждении 8-мерной геометрической модели грави-сильных взаимодействий было показано, что из обобщенной 8-мерной модели можно получить как сильные, так и электрослабые взаимодействия кварков. В последнем случае необходимо было произвести редукцию, т. е. понижение размерности до семи. Таким образом, имеются далеко идущие аналогии в объединении физических взаимодействий в рамках геометрического и реляционного подходов.

8. Кратко охарактеризованные выше процедуры и принципы позволяют единообразно записать прообразы действия (лагранжиана) взаимодействия как сильного, так и электрослабого для барионов, а также

и электрослабого взаимодействия лептонов, как массивных, так и нейтрино, друг с другом и с барионами (кварками). Эти прообразы строятся в виде комбинаций из произведений 4-скоростей (из внешних параметров) компонент частиц (кварков) с соответствующими коэффициентами из внутренних параметров, имеющими физический смысл зарядов в сильных и электрослабых взаимодействиях.

9. Однако при описании взаимодействий остаются неопределенными количества и значения независимых констант и зарядов в соответствующих взаимодействиях. Этот пробел устраняется учетом специального принципа симметрии каналов физических взаимодействий (см. [33, 36]). С помощью этого принципа показывается, что сильные взаимодействия характеризуются только одной константой, соответствующей константе g_0 в хромодинамике, а электрослабые взаимодействия — двумя константами, соответствующими известным зарядам g_1 и g_2 в модели Вайнберга—Салама—Глэшоу. Более подробно этот вопрос рассмотрен в [36].

10. Примечательным свойством бинарной геометрофизики является то, что заряды частиц принимают квадратичный характер, как и все другие классические выражения, т. е. более первичными оказываются корни квадратные от электрического и других зарядов. Этот факт позволяет высказать гипотезу, что значения, например, слабых (электрослабых) зарядов тесно связаны с числами ряда Фибоначчи и с «золотыми числами» [35].

15.8. Метафизический анализ предгеометрии

Проанализируем описанную в этой главе предгеометрию (бинарную геометрофизическую) с позиций метафизики.

15.8.1. Монистический характер бинарной геометрофизики

1. Бинарная геометрофизика строится в рамках **монистической метафизической парадигмы** на основе собственной системы понятий и закономерностей, не нуждающейся в привлечении инородных понятий из общепринятой физики и геометрии. Напомним, монистическая парадигма означает холистический подход к физическому мирозданию, т. е. в ней исходят из *единого и неделимого на части первоначала*. В бинарной геометрофизике таковым является бинарная система комплексных отношений. Очевидно, определение БСКО теряет смысл при исключении одного из двух ее множеств или отношений между их элементами.

Как подчеркивалось еще в античности, единое начало не может быть безликом, — согласно учению Аристотеля оно проявляется в виде трех сторон. Из них две стороны соответствуют возможности. В элементарном звене любого процесса должны быть заложены представления

о двух крайних положениях системы — о начальном и конечном состояниях, между которыми осуществляется переход.

В бинарной геометрофизике эти две стороны описываются с помощью двух множеств элементов со следующей интерпретацией: одно множество элементов M описывает начальные состояния системы, а второе множество элементов N — конечные состояния системы.

Согласно Аристотелю, двух сторон единого в возможности недостаточно, — должна быть задана третья сторона, их связывающая и в конце концов позволяющая перейти от возможности к действительности. В бинарной геометрофизике в качестве третьей стороны единого выступают отношения, комплексные числа, задаваемые для каждой пары элементов из двух противоположных множеств. Именно из этих чисел на некотором этапе развития теории получается то или иное классическое или квантовое понятие, характеризующее переход.

2. Аналогично тому, как это делалось во всех предыдущих частях книги, охарактеризуем предгеометрию через 3×3 -таблицы. Поскольку монистическое миропонимание опирается лишь на одну обобщенную категорию бинарных систем комплексных отношений ранга (6,6), то теперь возникает неопределенность в выборе места, куда ее поместить в таблице. Так как она содержит в себе истоки всех трех физических категорий триалистической парадигмы, то расположим ее по главной диагонали таблицы, в которой все линии теперь являются одиночными. (Напомним, что двойные линии отделяли друг от друга различные категории.) Такую таблицу можно представить в виде (15.8.1).

Монистическое миропонимание

	Пространство-время	Поля	Частицы
Пространство-время	Совокупность всех БСКО	$\rightarrow \uparrow$	$\rightarrow \uparrow$
Поля	$\downarrow \leftarrow$	Комплексные парные отношения	$\rightarrow \uparrow$
Частицы	$\downarrow \leftarrow$	$\downarrow \leftarrow$	Элементы из двух множеств

(15.8.1)

Так как понятие частиц наиболее тесно связано с элементами, то два множества элементов помещены в нижнюю правую ячейку. А поскольку понятие поля возникает непосредственно из парных отношений, то бинарные отношения помещены в центральную часть диагонали, соответствующую полу как по вертикали, так и по горизонтали.

3. Следует особо подчеркнуть, что монистический (холистический) характер бинарной геометрофизики имеет смысл лишь относительно

объединения трех ключевых физических категорий. В бинарной геометрофизике остается редукционизм в виде огромной совокупности отдельных БСКО ранга (6,6), соответствующих множеству физических процессов в едином мироздании. Это отображено в табл. (15.8.1) в виде левой верхней ячейки, находящейся на пересечении столбца и строки, соответствующих категориям пространства-времени. Наличие огромной совокупности БСКО лежит в основе идеи о макроскопической природе классического пространства-времени, рассмотрению которой посвящена следующая глава.

4. Единое начало в бинарной геометрофизике характеризуется, во-первых, рангом закона БСКО, в конце концов определяющим общепринятую размерность, и, во-вторых, базовым 6×6 -отношением — своеобразным объемом комплексной бинарной геометрии. Как было показано, базовое 6×6 -отношение является прообразом действия (лагранжиана) в общепринятой физике.

Из понятий БСКО ранга(6,6): элементов, парных отношений, миноров детерминанта, определяющего закон, ранга и других — строится теория, призванная привести к общепринятым понятиям как классической геометрии, так и общепринятой физики.

15.8.2. Истоки трех физических категорий

1. Уже на самом элементарном уровне построения бинарной геометрофизики $R_\mu(\mu)$ можно рассмотреть истоки возникновения и основных свойств ключевых категорий классической физики и геометрии (в рамках триалистической парадигмы): пространства-времени, полей переносчиков взаимодействий и частиц. Примечательно, что эти категории возникают из трех видов своеобразных «сшивок» элементов из двух множеств БСКО. Если брать по одному элементу, то в конце концов можно прийти к пространству-времени; если брать по два элемента, то приходим к прообразу полей переносчиков взаимодействий, а если по три элемента, то имеем определения частиц. Это отображено в табл. (15.8.2).

Истоки категорий классической физики

	Пространство-время	Поля	Частицы
Пространство-время	«Сшивка» одной пары элементов		
Поля		«Сшивка» двух пар элементов	
Частицы			«Сшивка» двух троек элементов

(15.8.2)

Эти обстоятельства уже назывались в этой главе в процессе обсуждения оснований бинарной геометрофизики. Еще раз кратко напомним главные моменты.

Категория пространства-времени соответствует (унарной) геометрии, получающейся «склейкой» по одному элементу из двух множеств БСКО. При этом ключевую роль играет выделенная из БСКО ранга (6,6) подсистема в виде БСКО минимального невырожденного ранга (3,3). Назовем главные уже вырисовывающиеся на самом элементарном уровне свойства этой категории:

- 1) Размерность 4 и сигнатура $(+ - - -)$ классического пространства-времени обусловлены минимальным рангом (3,3) выделенной БСКО.
- 2) Поскольку парные унарные отношения представляют собой прообраз метрики, можно утверждать, что квадратичный характер мероопределения в геометрии обусловлен рангом (3,3).
- 3) В теории БСКО ранга (3,3) элементы описываются 2-компонентными спинорами, что и определяет дальнейшее появление 4-мерных векторов и 6-параметрической группы Лоренца. Это означает обратный порядок введения спиноров: не из 4-мерного пространственно-временного многообразия, а наоборот.

Категория полей переносчиков взаимодействий тесно связана с (унарным) пространством скоростей, получаемым сшивкой двух пар элементов из двух множеств БСКО. В данном подходе проявляются следующие характерные черты прообраза переносчиков взаимодействий:

- 1) Прообраз полей переносчиков взаимодействий имеет вторичный характер, обусловленный свойствами состояний частиц.
- 2) Различие переносчиков взаимодействий зависит от второй части парных отношений БСКО ранга (6,6), описываемой БСКО ранга (4,4).
- 3) Различные виды полей переносчиков взаимодействий (и самих видов взаимодействий) определяются частными типами 3×3 -матриц, а точнее – разными видами их вырождения.

Категория частиц определяется тройками элементов в каждом из двух множеств M и N . Выделим ключевые факторы данной категории.

- 1) Частицы оказываются простейшими системами, отвечающими принципу тринитарности (триединства).
- 2) Число три, характеризующее частицу, тесно связано с рангом (6,6) БСКО, лежащей в основании мира. Оно определяется половиной ранга, что дает возможность характеризовать взаимодействие двух частиц посредством базового 6×6 -отношения.

3) Особо следует подчеркнуть тот факт, что все виды фермионных частиц: барионы, массивные лептоны и нейтрино в бинарной геометрофизике описываются единообразно через тройки элементов.

2. Опираясь на теорию БСКО ранга (6,6), можно выявить истоки появления обобщенных категорий в рамках теорий дуалистических парадигм (миропониманий).

Реляционное миропонимание не нуждается в особых комментариях, поскольку построение бинарной геометрофизики осуществляется непосредственно со стороны реляционного подхода к физике и геометрии. Тем не менее выделим два аспекта.

- 1) При реляционном изложении классической физики использовались токовые отношения, которые определялись как отношением скоростей, так и произведением электрических зарядов пар частиц. В рамках БСКО ранга (6,6) показано, что электрические заряды и скорости возникают из разных подсистем отношений: заряды из БСКО ранга (4,4), а скорости из БСКО ранга (3,3).
- 2) Прообразы пространственно-временных отношений и отношений в пространстве скоростей возникают из одной и той же БСКО ранга (3,3) при двух способах перехода к унарным системам вещественных отношений: путем склейки одной или двух пар элементов из разных множеств.

Теоретико-полевое миропонимание непосредственно связано с введением двух множеств бинарных систем. Данная этим множествам интерпретация соответствует в аксиоматике Дирака двум пространствам векторов состояний (векторов и со-векторов), а также идеям S-матричного подхода. Только теперь ничего не говорится о привязке состояний к минус- или плюс-бесконечностям. Из бинарной геометрофизики вытекают следующие важные свойства квантовой теории:

- 1) Прежде всего — вероятностный характер теории, поскольку в бинарной геометрофизике рассматриваются переходы между возможными состояниями.
- 2) Квадратичный характер вероятности можно усмотреть в способах перехода от бинарных систем к унарным, когда отношения в унарных системах строятся квадратичным образом из отношений бинарных систем.
- 3) Спинорность частиц обычно причисляется к квантовым свойствам частиц. В данном подходе спинорное описание элементов БСКО ранга (3,3) возникает самым естественным образом.

Геометрическое миропонимание просматривается в ряде черт бинарной геометрофизики:

- 1) Прежде всего, следует обратить внимание на то, что как БСКО ранга (3,3), являющаяся истоком 4-мерных пространственно-вре-

менных отношений, так и БСКО ранга (4,4), определяющая зарядовые свойства частиц, а следовательно и переносчики взаимодействий, возникают из отношений единой БСКО ранга (6,6). Напомним, что в многомерных геометрических моделях типа теории Калуцы аналогичным образом из единого многомерного геометрического многообразия выделялось 4-мерное пространство-время, а дополнительные степени свободы описывали поля негравитационных взаимодействий.

- 2) Примечательным является также тот факт, что в бинарной геометрофизике, как и в многомерных геометрических теориях калуцевского типа, различные виды физических взаимодействий выводятся из единого (бинарного или унарного) начала путем выделения различных частных видов 3×3 -матриц из дополнительных параметров или компонент метрики.

Глава 16

От предгеометрии к классической геометрии и физике

Опираясь на сформулированные в предыдущей главе ключевые понятия и принципы бинарной геометрофизики, а также на выявленные истоки категорий классической физики и геометрии, далее необходимо показать, как конкретно осуществляется переход от них к привычным представлениям физики, в частности к классическому пространству-времени, полям переносчиков взаимодействий и другим понятиям и закономерностям известных физических теорий. Иначе говоря, необходимо описать обратный путь от монистической парадигмы к дуалистическим и триалистической парадигмам физики. Принципиальные моменты решения этой задачи имеют метафизический характер и могут быть проиллюстрированы с помощью рис. 16.1.

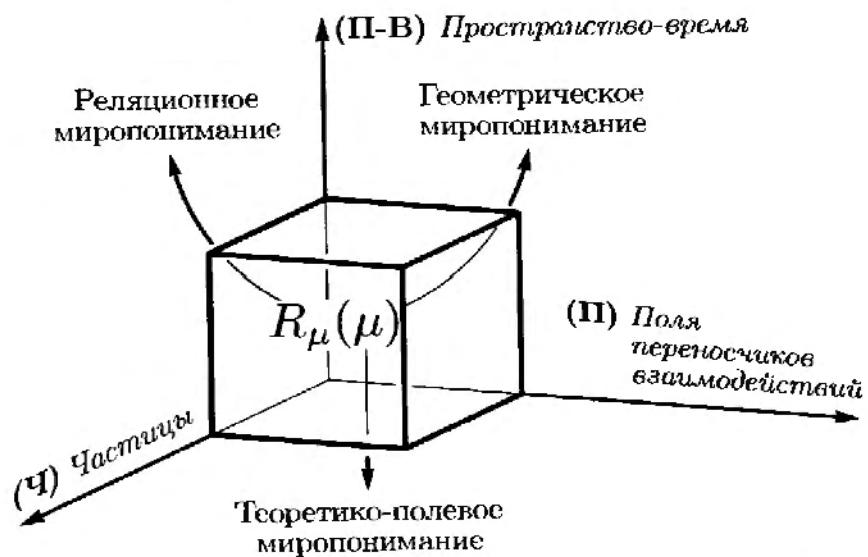


Рис. 16.1. Переход от элементарной бинарной геометрофизики к известным теориям трех миропониманий

При решении данной задачи важную роль играет идея *макроскопической (статистической) природы классического пространства-времени* и других сопутствующих понятий общепринятой физики. Она состоит

в том, что классические понятия справедливы лишь для достаточно больших (сложных) систем из элементарных частиц — макросистем — и возникают в результате своеобразного наложения (суммирования) огромного количества факторов, присущих микрообъектам. Согласно данному подходу, многие привычные понятия физики можно уподобить таким понятиям термодинамики, как давление или температура.

Исходя из принципов бинарной геометрофизики (предгеометрии), покажем, что факторами, подлежащими суммированию, являются комплексные отношения между элементами, установленные гигантской совокупностью БСКО. При этом ключевую роль играют отношения из внешних параметров, характеризуемые БСКО ранга (3,3). Из нее выделяется как подсистема БСКО минимального ранга (2,2), определяющая фазовые вклады.

Только в итоге формирования (вывода) категории пространства-времени приобретает смысл использование категории полей переносчиков взаимодействий и проявляются свойства категории частиц, описываемые квантовой теорией.

Монистическая система физического мироздания позволяет под новым углом зрения взглянуть на ряд принципиальных проблем общей теории относительности и квантовой теории, а также на путь совмещения их принципов.

Некоторые положения, сформулированные в этой части книги, уже выдвигались рядом физиков и математиков, в том числе и непосредственными создателями квантовой теории и теории относительности. Однако в процессе довольно сложного, подчас бурного и противоречивого развития теоретической науки, с характерными для нее односторонними удачами и неизбежными иллюзорными представлениями, многие высказывания и точки зрения оказались забытыми или не привлекали должного внимания. И чтобы дальнейшие рассуждения не воспринимались как «глас вопиющего в пустыне», значительное место в них займут цитаты из работ классиков фундаментальной физики. Разумеется, по прошествии многих лет уже трудно различить, какие из них послужили импульсом в работе, а какие были подобраны позже в качестве иллюстрации или подкрепления своей точки зрения.

16.1. Макроскопическая природа пространства-времени

Проблема вывода классического пространства-времени на основе идеи его макроскопической природы рассматривалась целым рядом авторов. И сегодня трудно сказать, кому принадлежит приоритет выдвижения данной идеи. Некий намек можно усмотреть уже в из-

вестном мемуаре Б. Римана, где он писал: «Эмпирические понятия, на которых основывается установление пространственных метрических отношений, — понятия твердого тела и светового луча, — по-видимому, теряют всякую определенность в бесконечно малом. Поэтому вполне мыслимо, что метрические отношения пространства в бесконечно малом не отвечают геометрическим допущениям; мы действительно должны были бы принять это положение, если бы с его помощью более просто были объяснены наблюдаемые явления.

Вопрос о том, справедливы ли допущения геометрии в бесконечно малом, тесно связан с вопросом о внутренней причине возникновения метрических отношений в пространстве. Этот вопрос, конечно, также относится к области учения о пространстве, и при рассмотрении его следует принять во внимание сделанное выше замечание о том, что в случае дискретного многообразия принцип метрических отношений содержится уже в самом понятии этого многообразия, тогда как в случае непрерывного многообразия его следует искать где-то в другом месте. Отсюда следует, что или то реальное, что создает идею пространства, образует дискретное многообразие, или нужно пытаться объяснить возникновение метрических отношений чем-то внешним — силами связи, действующими на это реальное» [143, с. 32].

Эти мысли Римана следует связать с рядом высказываний известных физиков-теоретиков и математиков XX в. В частности, напомним ранее приведенное в гл. 14 высказывание одного из создателей квантовой механики Луи де Бройля о необходимости пересмотра представлений о классическом пространстве-времени в микромире для более адекватного описания закономерностей квантовой механики.

Более определенно о происхождении метрических отношений высказывался Д. ван Данциг: «Можно быть склонным рассматривать метрику, как описывающую некое «нормальное» состояние материи (включая излучение), и дать ей *статистическую* интерпретацию как некоторый вид среднего физических характеристик окружающих событий, вместо того, чтобы кладь ее в основу всей физики» [54].

О том же писал Е. Циммерман в своей работе «Макроскоическая природа пространства-времени»: «Пространство и время не являются такими понятиями, которые имеют смысл для отдельных микросистем. (...) Наиболее фундаментальным следствием взаимодействия огромного числа таких микросистем является образование пространственно-временной решетки, которая приводит к справедливости классических понятий пространства и времени, но только в макроскопической области» [190].

Неоднократно высказывался по этому вопросу наш соотечественник, известный геометр П. К. Ращевский, пришедший к данной идеи со стороны геометрии. В монографии «Риманова геометрия и тензорный

анализ» он писал: «Между тем трудно сомневаться в том, что макроскопические понятия, в том числе и наши пространственно-временные представления, на самом деле уходят своими корнями в микромир. Когда-нибудь они должны быть раскрыты как некоторый статистический итог, вытекающий из закономерностей этого мира — далеко еще не разгаданных — при суммарном наблюдении огромного числа микроявлений» [139, с. 258]. Далее он повторяет эту мысль: «Возможно, что и сам четырехмерный пространственно-временной континуум с его геометрическими свойствами окажется в конечном счете образованием, имеющим статистический характер и возникающим на основе большого числа простейших физических взаимодействий элементарных частиц» [139, с. 658].

В последней трети XX в. была предпринята попытка вывести модель классического пространства-времени из физики микромира на основе твисторной программы Р. Пенроуза [125, 126, 163]. В одной из статей Р. Пенроуза с сотрудниками писалось: «В предшествующих работах (Р. Пенроуза — Ю. В.) было показано, что можно ввести понятие евклидова пространства, исходя из предела вероятности взаимодействия большой сети частиц, квазистатически обменивающихся спинами. При таком подходе евклидова структура возникает из комбинаторных правил, которым удовлетворяет полный угловой момент в релятивистской квантовой механике. (...) Мы надеемся, что развитие твисторной теории приведет в конечном счете к построению лоренцевых многообразий, которые будут служить моделями пространства-времени» [163, с. 132].

Отметим, что решение данной проблемы тесно связано с проблемой перехода от исконно квантовых свойств микромира к закономерностям классической физики. Так в монографии М. Б. Менского, посвященной анализу принципов квантовой теории, говорится: «Теперь мы оказываемся перед лицом самого трудного и интригующего вопроса: как появляются классические черты у исходно квантового мира. В известном смысле, в наше время это очень простой вопрос. С другой точки зрения он труден и все еще не решен и даже может оказаться вообще неразрешимым» [107, с. 197]. В сделанном примечании отмечается: «Мы не будем обсуждать альтернативный взгляд, что наш мир не является исходно квантовым, потому что его квантовый характер на фундаментальном уровне подтверждается многочисленными физическими экспериментами (это, конечно, не является окончательным доказательством)». М. Б. Менский предлагает путь решения этого вопроса в рамках фейнмановского подхода к описанию открытых систем (на основе суммирования по путям-историям).

Идея макроскопической природе пространства-времени и других понятий физики содержит в себе зерно редукционистского подхода

к мирозданию. Подразумевается, что из единого целого можно выделить отдельные микроскопические части и из неких присущих им характеристик путем их суммирования (наложения) вывести известные физические категории пространства-времени, полей переносчиков взаимодействий и частиц. Заметим, что редукционистский подход содержитя и в принципах бинарной геометрофизики, где факторами, подлежащими суммированию, являются комплексные отношения между элементами.

Таким образом, в бинарной геометрофизике проявляются оба подхода к мирозданию: холистический и редукционистский. Последний выражается в выделении из всего мироздания отдельных элементов (частиц) и эталонных базисов, а холистический подход — в неразрывности множеств элементов и отношений, а также в самом принципе фундаментальной симметрии, позволяющем конкретизировать вид закона и парных отношений.

Таким образом, решение задачи выделения трех ключевых категорий триалистической парадигмы из триединого (холистического) первоначала, положенного в основу бинарной геометрофизики, обусловлено делимостью на части двух множеств БСКО в совокупности с (редукционистской) идеей макроскопического характера привычных категорий физики.

16.2. Элементарные факторы, подлежащие суммированию

В приведенных выше высказываниях о желательности макроскопического подхода к геометрии и физике, как правило, не называются факторы из физики микромира, подлежащие суммированию. Исключением являются идеи твисторной программы Пенроуза, где их предлагается описывать твисторами. Что касается замечания Менского об использовании фейнмановских вкладов от путей, то названные им вклады вдоль путей уже опираются на готовое пространство-время.

В бинарной геометрофизике предлагается конкретный путь реализации идеи макроскопической природы классического пространства-времени и многих понятий общепринятой физики. Напомним, что, согласно блок-схеме на рис. 15.1, построение классической физики и геометрии осуществляется посредством перехода от микропонятий μ к совокупностям (огромным суммам) микропонятий, которые соответствуют характеристикам макрообъектов t . Это означает своеобразные суммирования введенных в рамках БСКО ранга (6,6) (или ее упрощенных вариантов) параметров.

Особое значение имеет учет событий окружающего мира, указанных на блок-схеме символом M . Последний включает в себя, во-первых, все

элементы окружающего мира, с которыми может произойти взаимодействие в виде столкновения или передачи «излучения» от выделенной частицы в будущем. А во-вторых — некоторую совокупность событий в прошлом, которые произошли с иными частицами («излучения» от иных частиц). В терминологии Фейнмана—Уилера первое из этих подмножеств соответствует мировому поглотителю (в будущем), а второе множество — мировому излучателю (в прошлом). Мировой излучатель ответственен за идею пространства-времени, а мировой поглотитель — за запаздывающий характер взаимодействий.

16.2.1. Природа элементарных носителей пространственно-временных отношений

1. Поскольку бинарная геометрофизика исходит из описания элементарных звеньев процессов, то, прежде всего, нужно определить, какие процессы следует считать ответственными за происхождение классических пространственно-временных отношений. Естественно полагать, что таковыми являются процессы **электромагнитных взаимодействий в окружающем мире**.

Данное утверждение можно подкрепить рядом аргументов. Во-первых, все основные понятия геометрии (примитивы ее аксиоматики) — это абстракции, взятые от классических объектов, построенных из атомов и молекул на основе именно электромагнитных взаимодействий. Во-вторых, получение любой информации классическим наблюдателем неизбежно сопряжено с изменениями состояний каких-то атомов или молекул, т. е. на общепринятом языке связано с испусканием или поглощением фотонов — переносчиков электромагнитных взаимодействий. В-третьих, электромагнитные взаимодействия являются дальнодействующими в смысле медленного убывания с расстоянием. Другой вид медленно убывающих взаимодействий, — гравитационных, — в данном подходе обусловлен электромагнитным взаимодействием (см. гл. 13). В подтверждение сформулированной позиции можно привести и другие доводы.

2. В реляционном подходе **элементарными носителями классических пространственно-временных отношений являются комплексные отношения между элементами, порожденные электромагнитными процессами, описываемыми БСКО ранга (4,4)**. (Без ущерба для общности можно опереться лишь на внешние параметры, описываемые БСКО ранга (3,3).) В общепринятой теоретико-полевой парадигме таковыми являются процессы излучения и поглощения фотонов. Однако это не означает, что непосредственными носителями пространственно-временных отношений выступают «фотоны». Они только реализуют (превращают в действительность) одну из воз-

можностей, описываемых мировой матрицей конкретной БСКО ранга (3,3). Но процесс взаимодействия содержит в себе нечто большее — генерацию всеобщих отношений между источником и всеми другими возможными поглотителями.

Согласно развивающейся реляционной теории, в процессе взаимодействия (в момент «излучения») возникает БСКО ранга (3,3) (или, точнее, ранга (4,4) в виде упрощенной модели БСКО ранга (6,6)), в которой собственным базисом (системой эталонных элементов) является излучатель. В этой системе отношений отображаются все возможные поглотители, в том числе и тот, который реально провзаимодействует с источником, т. е. поглотит его «излучение», превратив тем самым возможность в действительность. Как только происходит поглощение «фотона», данная БСКО прекращает свое существование, а вместо нее возникает (или может возникнуть) иная система отношений, где базисом является уже новый излучатель, ранее бывший приемником.

3. В реальном мире мы имеем дело не с одной БСКО ранга (3,3) (точнее, БСКО более высокого ранга), а с огромной совокупностью БСКО этого ранга, обусловленных множеством происходящих в мире процессов взаимодействий. На языке общепринятой теоретико-полевой парадигмы это соответствует наличию во Вселенной гигантского «моря фотонов», испущенных, но еще не нашедших своего поглотителя. При этом следует особо подчеркнуть, что речь идет не только о фотонах, достигших какого-то конкретного места, а о всех фотонах, существующих в мире. Отношения, устанавливаемые в рамках БСКО, на классическом языке «распространяются с бесконечной скоростью».

В связи с этим напомним неоднократно высказывавшиеся соображения о смысле продольной (плюс временной) части электромагнитного поля. Так, в книге Р. Фейнмана «Квантовая электродинамика»¹⁾ излагаются взгляды Э. Ферми на квантовую электродинамику: «Предположим, что все атомы Вселенной помещены в некотором кубе. Классически такой куб можно рассматривать как обладающий собственными колебаниями, описываемыми с помощью распределения гармонических осцилляторов, взаимодействующих с веществом. Переход к квантовой электродинамике заключается в простом предположении, что эти осцилляторы являются не классическими, а квантовыми. (...) Взаимодействие фотонов с веществом приводит к изменению числа фотонов n на ± 1 (излучение или поглощение). Поле в кубе можно представить в виде плоских стоячих волн, сферических волн или плоских бегущих волн e^{ikx} . Можно сказать, что полное поле в кубе состоит из кулоновского поля,

¹⁾М.: Изд-во Мир, 1964.

ответственного за *мгновенное взаимодействие* зарядов по закону e^2/r_{ij} , и поля, связанного с *поперечными волнами*.

В работах Р. Фейнмана многократно обращается внимание на то, что действие для электромагнитного поля делится на две части, которым дается следующая интерпретация: «Одна из них описывает вклад, обусловленный мгновенным кулоновским взаимодействием; оставшуюся часть назовем действием S_{field} , которое соответствует полю излучения (учет излучения обеспечивает все поправки к мгновенному полю, например поправки, связанные с запаздыванием суммарного воздействия электромагнитного поля и поправки на скорость распространения этого взаимодействия, которое не превышает скорости света)» [170, с. 262].

В этих и ряде других высказываниях наиболее примечательными являются слова о «*мгновенности*» кулоновского взаимодействия, что созвучно идее о матрице отношений, порожденной электромагнитным излучением. Эта матрица отношений характеризует *возможность* того или иного исхода процесса, тогда как поперечная часть определяет *действительность*, т. е. окончательный результат процесса электромагнитного взаимодействия.

Здесь следует обратить внимание на дефект представления о мгновенности распространения продольной части именно как кулоновского потенциала e^2/r_{ij} . Это предполагает, что отдельный «испущенный фотон» уже несет в себе классическое представление о расстоянии, например, между излучателем i и всеми возможными приемниками j . Но в процессе его «распространения» (в классическом смысле) эти расстояния в общем случае изменяются. Как может оставаться это неизменное значение потенциала? В бинарной геометрофизике этот дефект устраняется благодаря тому, что речь идет о матрице не вещественных, а комплексных, точнее, компактифицированных парных отношений.

4. От каждой БСКО ранга (3,3) можно перейти к двум видам унарных геометрий: к геометрии Лобачевского, в которой частицы характеризуются неизотропным вектором скорости, и к прообразу геометрии Минковского, чему соответствует изотропный вектор k^μ , сопоставляемый каждой частице относительно излучателя. Разумеется, это не означает, что сама частица при этом становится светоподобной (или превращается в нейтрино).

В теоретико-полевой парадигме изотропный вектор k^μ принято приписывать фотону, т. е. электромагнитному излучению, испущенному излучателем и поглощенному другой частицей (приемником). Но в теории прямого межчастичного взаимодействия нет полей переносчиков взаимодействий. Следовательно, изотропный вектор k^μ принадлежит не фотону, а характеризует вторую частицу (приемник излучения) в ее пространственно-временных отношениях с излучателем и с окружающим миром.

Примечательно, что уже в унарной теории прямого межчастичного взаимодействия Фоккера—Фейнмана было провозглашено, что никакая частица не излучает в пустоту, — всякий процесс излучения может иметь место лишь тогда, когда имеется поглотитель излучения.

5. Существование пространственно-временных отношений тесно связано с тем, что в системах отношений имеется понятие, которое на обыденном языке интерпретируется как «промежуток времени» между излучением и поглощением сигнала. Другими словами, **пространственно-временные отношения обусловлены немгновенностью распространения (световых) сигналов между взаимодействующими объектами**.

Можно утверждать и обратное: смысл и назначение отношений, характеризуемых БСКО ранга (3,3), в частности, состоит в задании расстояний между парами частиц, которые, в свою очередь, определяют «промежутки времени» существования возможных БСКО при (электромагнитном) взаимодействии между соответствующими парами частиц. На языке классической теории это соответствует закономерностям, положенным в основу хроногеометрии, т. е. сигнатуре (+ − − −) классического пространства-времени.

6. Происхождение классических пространственно-временных отношений из наложения элементарных отношений БСКО, порожденных процессами в окружающем мире, является еще одним проявлением **принципа Маха**.

Согласно данному подходу, принцип причинности и наличие изотропного конуса не являются первичными понятиями физики, а имеют макроскопическую природу, т. е. выступают следствием суммирования вкладов из отношений от процессов во всем окружающем мире.

16.2.2. Факторы суммирования: фазы как элементы БСКО ранга (2,2)

1. Уточним понятие суммируемых вкладов. Для этого вернемся к закону БСКО ранга (3,3) для внешних параметров элементов. Легко показать, что закон (15.4.2) будет по-прежнему выполняться, если произвести следующее преобразование параметров элементов:

$$\begin{aligned} i^s &\rightarrow \tilde{i}^s = C_i i^s; & k^s &\rightarrow \tilde{k}^s = C_k k^s; & j^s &\rightarrow \tilde{j}^s = C_j j^s; \\ \alpha^s &\rightarrow \tilde{\alpha}^s = C_\alpha \alpha^s; & \beta^s &\rightarrow \tilde{\beta}^s = C_\beta \beta^s; & \gamma^s &\rightarrow \tilde{\gamma}^s = C_\gamma \gamma^s, \end{aligned} \quad (16.2.1)$$

где C_i, \dots, C_γ — некоторые комплексные числа, сопоставляемые соответствующим элементам, т. е. оба параметра каждого элемента i умножаются на один и тот же конформный фактор C_i .

2. Выражения (16.2.1) показывают, что из ранее рассматривавшихся параметров можно выделить множители, которые также следует по-

нимать как характеристики элементов. Более того, оказывается, что эти характеристики являются элементами самостоятельной бинарной системы комплексных отношений минимального ранга (2,2). Действительно, согласно общей формуле (14.4.3), теории бинарных систем отношений закон для ранга (2,2) имеет вид

$$\Phi_{(2,2)} = \begin{vmatrix} \hat{u}_{i\alpha} & \hat{u}_{i\beta} \\ \hat{u}_{k\alpha} & \hat{u}_{k\beta} \end{vmatrix} = 0, \rightarrow \hat{u}_{i\alpha}\hat{u}_{k\beta} = \hat{u}_{k\alpha}\hat{u}_{i\beta}, \quad (16.2.2)$$

где парное отношение определяется единственными параметрами каждой из частиц

$$\hat{u}_{i\alpha} = \hat{i}^1 \hat{\alpha}^1. \quad (16.2.3)$$

Эти параметры следует отождествить с конформными факторами $\hat{i}^1 \equiv C_i$ и $\hat{\alpha}^1 \equiv C_\alpha$.

Таким образом, БСКО ранга (2,2) является подсистемой БСКО ранга (3,3), уже выделенной ранее из полной БСКО ранга (6,6).

3. Из общих положений теории БСКО ранга (3,3) можно сделать вывод (см. [33, 36]): параметры элементов подсистемы ранга (2,2) должны быть по модулю равными единице:

$$\hat{i}^1 = \exp(i\varphi_i); \quad \hat{\alpha}^1 = \exp(i\varphi_\alpha), \quad (16.2.4)$$

т. е. они могут отличаться друг от друга лишь фазой. На этом основана интерпретация параметров БСКО ранга (2,2): показатель экспоненты интерпретируется как прообраз классического действия S .

Данную интерпретацию можно обосновать следующим образом. Поскольку БСКО ранга (2,2) выделяется из БСКО ранга (3,3), характеризующей 4-скорости частиц u_μ , то естественно связать параметры этих систем отношений, представив показатель экспоненты в виде

$$\varphi_k = C' u_\mu x^\mu \rightarrow CS, \quad (16.2.5)$$

где C и C' — константы, а x^μ — некоторые коэффициенты, выступающие как прообраз координат пространства-времени. Вводя в показатель экспоненты еще массу m , переопределяем константу $C' = mcC$, тогда вместо 4-скорости можно писать импульс частицы $p_\mu = mci_\mu$.

Так как при данной интерпретации в экспоненте оказывается размерная величина (действие S), то необходимо ввести универсальный коэффициент, обратный размерности действия. Из указанной аналогии ясно, что таковым должна быть постоянная Планка \hbar в знаменателе, т. е. $C = 1/\hbar$.

4. Следует подчеркнуть, что введенные в показатель экспоненты (16.2.5) параметры x^μ следует рассматривать лишь как прообразы

классических координат, поскольку пока они определены неоднозначно, с точностью до изменения всей фазы на 2π , умноженного на целое число

$$\varphi \rightarrow \varphi(n) = 2\pi n + \varphi \rightarrow x(n) = n\lambda + \frac{1}{2\pi} \varphi\lambda, \quad (16.2.6)$$

где, во-первых, формула записана лишь для одной компоненты и, во-вторых, вместо импульса k (энергии) введена длина волны $\lambda = \hbar/k$. Это означает, что прообразы координат компактифицированы.

Тем не менее уже можно утверждать, что для инвариантности фазы относительно допустимых преобразований компонент 4-скорости необходимо положить, что параметры x^μ также должны быть компонентами 4-вектора.

5. Ранее было показано, что 4-компонентный столбец из параметров элементов i^s и β_s , описывающих одну частицу, представляет собой прообраз биспинорной волновой функции. Преобразование (16.2.1) можно интерпретировать как разбиение прообразов фермионных волновых функций на частотную и спинорные части, используемые в стандартной квантовой теории поля (см., например, [9]).

16.3. От фазовых вкладов к классической геометрии

Фазовые вклады, описываемые параметрами БСКО ранга (2,2), ответственны за возникновение классической метрики, т. е. на их основе решается задача физического обоснования (статистического введение) метрики (расстояний) о которой писали Б. Риман, Д. ван Данциг и П. К. Рашевский.

16.3.1. Уилер о роли фаз в геометрии

На важность роли фазы в раскрытии сущности геометрии обращал внимание Дж. Уилер, который писал: «Однако Природа умеет «вести учет» различия «фаз». Значит, если Природа сводится к геометрии, «фаза» также должна быть сводима к геометрии. Однако «фаза» не всегда отчетливо отражает чисто геометрический характер исконно единой теории поля. Не впадает ли эта теория в чрезмерную узость, используя исключительно средства *дифференциальной* геометрии — геометрии в непосредственной окрестности точки? Не является ли ее пороком невозможность признания общности между удаленными точками? Не являются ли обычные геометрические средства непригодными потому, что они, так сказать, вводят слишком много точек и допускают различимость этих точек в качестве постулата, не подлежащего сомнению? Не существует ли какой-либо возможности отбросить подобные неудачные

основы и все же сохранить существенные черты глобальной структуры? Не достаточно ли одной точки? Не может ли эта точка повторять свою роль вновь и вновь, подобно тому, как электронный луч в телевизионной трубке, пробегая достаточно быстро, воспроизводит все изображение. Не будет ли взаимная «фаза» двух точек играть более важную роль, если между точками будет иметь место более глубокая внутренняя связь этого типа? Конечно, здесь не идет речь об *изменении* теорий Эйнштейна и Максвелла; мы лишь ищем другую *формулировку* этой теории. *Существование в основных законах классического пространства-времени величины такого типа как относительная «фаза» двух отдельных точек приводит исследователей, ищущих чисто геометрическое описание природы, к заключению, что понятие «фазы» еще не нашло своего наиболее удачного геометрического средства выражения* (везде курсив Дж. Уилера. — Ю. В.) [165, с. 61]. Близкую мысль о роли «фазы» он высказывает и в других местах, относя к одной из важных нерешенных проблем физики вопрос: «Могут ли идеи римановой геометрии и геометродинамики быть переформулированы в таком виде, чтобы концепция относительной «фазы» двух удаленных точек приобрела простой смысл?» [165, с. 207].

Предлагаемое здесь построение макроскопической теории классических пространственно-временных отношений в значительной степени является ответом на сформулированные Дж. Уиллером вопросы. Они основаны на постановке понятия «фазы» во главу угла, причем не отдельной «фазы», а большой совокупности фазовых вкладов, изложения которых предлагается выводить как понятие расстояния, так и всю классическую геометрию.

В приведенном высказывании Дж. Уилера особо примечательны следующие моменты. Во-первых, в нем выражено сомнение в обоснованности методов дифференциальной геометрии, основанных на «непосредственной окрестности точки». Здесь фактически ставится вопрос о возможности глобального задания фаз между удаленными точками, что означает переход к концепции дальнодействия. Об этом также говорят его слова об использовании в существующей теории «слишком многих точек» пространства и ставится вопрос о «какой-либо возможности отбросить эти неудачные основы». Именно это осуществляется в бинарной геометрофизике, причем в ней используются не безликие точки, а события и частицы, составленные из элементов. Фазы определены лишь для пар частиц (элементов), но не для эфемерных геометрических точек, где нет реальных частиц.

Во-вторых, заслуживает внимание рассуждение Уилера о повторении роли точки вновь и вновь, из чего строится изображение, как в примере с электронно-лучевой трубкой. Это может быть соотнесено с упомянутой выше компактифицированностью прообразов координат

x^μ , когда на мысленной прямой каждый вклад повторяется вновь и вновь, а становление расстояния происходит из наложения большого числа этих вкладов. Для получения классических координат необходимо осуществить процедуру декомпактификации.

Наконец, позволим себе отметить слова Уилера о том, «что понятие «фазы» еще не нашло своего наиболее удачного геометрического средства выражения». На решение этого вопроса претендует программа бинарной геометрофизики, где фазовые вклады паряду с угловыми образуют мировые матрицы парных отношений.

16.3.2. Процедура декомпактификации фазовых вкладов

1. В теоретико-полевом миропонимании частицы описываются волновыми пакетами, распределенным в некоторой области пространства. Сами пакеты трактуются в виде дискретного или сплошного спектра гармонических волн, различающихся длинами волн λ_s . Каждая из волн (гармоник) распределена сразу во всем пространстве. Если частицу характеризовать одной гармоникой, то она окажется пребывающей во всем пространстве равновероятно. Для локализации частицы необходимо рассмотрение импульса пакета волн. Ее положение определяется той областью готового пространства-времени, где квадрат суммарной амплитуды вероятности оказывается значительным. В классическом пределе положению частицы в окрестности какой-то точки соответствует дельта-функция как особое сложение волн, где отличный от нуля результат имеет место лишь в данной точке (в ничтожно малой ее окрестности), а во всех иных точках эта функция равна нулю.

Можно считать, что волновой пакет характеризует положение частицы относительно какого-то иного объекта, обычно выбираемого классическим, тогда речь идет о парном отношении (расстоянии) между двумя объектами, описываемом пакетом гармонических волн. Очевидно, что как само разложение волновых функций по гармоникам, так и всякое конкретное описание волнового пакета опирается на готовое пространство-время.

В бинарной геометрофизике ставится обратная задача. Полагается, что априорно заданного классического пространства-времени нет, однако имеются наборы фазовых вкладов в парные отношения между любыми парами объектов (элементов). Задача состоит в том, чтобы показать как из огромной совокупности отдельных фазовых вкладов получить вещественные парные отношения, соответствующие классическим пространственно-временным отношениям.

2. Приведем наиболее близкую к развиваемой здесь программе формулировку соотношения микропонятий и классической физики, сформулированную Дж. Уилером: «Прямой путь перехода от классической

теории к квантовой дает формулировка Фейнмана. Выражение

$$\langle C_2\sigma_2 | C_1\sigma_1 \rangle = \sum_H \exp\left(\frac{iS_H}{\hbar}\right) \quad (16.3.1)$$

представляет собой ключ, необходимый для оценки всех имеющихся физический смысл величин: амплитуды вероятности перехода от некоторой конфигурации C_1 на пространственно-подобной гиперповерхности σ_1 к C_2 на σ_2 . Здесь H символизирует любую историю изменения системы между σ_1 и σ_2 , обладающую в качестве граничных значений конфигурации C_1 и C_2 . Величина S_H является классическим действием, связанным с этой историей. Символ \sum_H обозначает суммирование с одинаковыми весами по всем историям, как допустимым, так и недопустимым с классической точки зрения, при такой нормировке, чтобы функция распространения (16.3.1) была унитарной» [165, с. 335].

При переходе от бинарной геометрофизики к классической физике решается задача, соответствующая записанной формуле, если несколько изменить смысл входящих в нее величин. Левую часть будем понимать в духе бинарной геометрофизики как амплитуду перехода между двумя состояниями достаточно сложной системы (на двух множествах M и N БСКО), а в правой части предлагается трактовать суммирование не по классическим траекториям в готовом пространстве-времени, а по вкладам всех квазифотонов в парные отношения между частями сложной системы. При этом классическое действие S_H понимается в преобразованном (динамическом) виде, соответствующем введению эволюции во времени. Последнее означает, что речь идет не об установленвшемся в неком процессе пространственном отношении, а о мыслимом его изменении из-за введения координаты времени.

16.3.3. Описание эволюции через БСКО ранга (2,2)

1. До сих пор основное внимание уделялось элементарному акту взаимодействия частиц — ключевому звену физики, описывающему переход системы из одного состояния в другое. Для перехода к классической физике необходимо связать отдельные звенья в цепочку, характеризующую эволюцию физической системы. В самом общем случае это достигается увязкой последовательных элементарных звеньев так, что конечное состояние для одного звена, т. е. элементы множества (N) БСКО, являются начальными состояниями второго звена, т. е. элементами множества (M). Затем таким же образом происходит связка второго звена с третьим и т. д. При таком подходе мир выглядит как система, совершающая некие дискретные скачки.

Еще в самом начале XX в. в этом же духе высказывались М. Планк и А. Пуанкаре, уподоблявшие Вселенную грандиозной машине, совер-

шающей квантовые переходы из одного состояния в другое. Как писал А. Пуанкаре, «В промежутках между этими скачками Вселенная остается неподвижной; различные моменты времени, в течение которого сохраняется это неизменное состояние Вселенной, очевидно, не могут быть отличены друг от друга. Мы приходим, таким образом, к прерывистому течению времени, к атому времени» [135]. В каком-то смысле можно присоединиться к этим взглядам с оговоркой на то, каким образом упорядочивать отдельные скачки, происходящие в различных частях мировой системы.

При переходе к классической теории нельзя забывать, что классическое время, как параметр эволюции, это не что иное как отношение какого-то числа событий к неким эталонным событиям. Очевидно, что отдельные элементарные частицы, составляющие элементарный базис, не обладают свойством памяти, т. е. возможностью фиксации многих событий и их сравнения. Этим свойством обладает лишь достаточно сложный макроприбор.

2. Как уже неоднократно отмечалось, в бинарной геометрофизике прообраз понятия времени заложен уже на самом элементарном уровне в виде двух множеств БСКО, однако конкретно он отображается через параметры БСКО минимально возможного ранга (2,2). Чтобы это показать положим, что уже произведена процедура декомпактификация и в показателях экспонент (16.2.5) устранена неоднозначность в компонентах x^μ , а сами показатели экспонент приобрели смысл классического действия.

Прологарифмировав правое выражение в (16.2.2) и введя обозначения типа

$$\ln \hat{u}_{i\alpha} = Ca_{i\alpha}, \quad (16.3.2)$$

где C — некая универсальная константа, приходим к соотношению

$$a_{i\alpha} + a_{k\beta} - a_{k\alpha} - a_{i\beta} = 0 \rightarrow \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & a_{i\alpha} & a_{i\beta} \\ 1 & a_{k\alpha} & a_{k\beta} \end{vmatrix} \equiv \tilde{\Phi}_{(2,2;a)} = 0. \quad (16.3.3)$$

Это есть не что иное, как закон вырожденной бинарной системы отношений (14.4.4) ранга (2,2;α), где новые отношения $a_{i\alpha}$ представляются в виде

$$a_{i\alpha} = \frac{1}{C} (\ln \hat{i}^1 + \ln \hat{\alpha}^1) \equiv i_0 + \alpha_0. \quad (16.3.4)$$

Именно по этой причине говорят, что БСКО минимального ранга (2,2) является вырожденной, т. е. как бы одновременно выступает в двух лицах: как обычная с мультипликативными выражениями (16.2.2) и (16.2.3) и как вырожденная с аддитивными соотношениями (16.3.3) и (16.3.4). Эти два лика БСКО минимального ранга соответствуют квантовому и классическому аспектам теории.

(i, α) на мировой линии выделенной частицы и некоторого события за пределами данной мировой линии с участием некой второй частицы, если события (k, β) и (j, γ) на мировой линии первой частицы интерпретировать соответственно как моменты посылки и приема сигнала от события с участием второй частицы (см. разд. 12.5).

7. Оставшиеся две (угловые) координаты в хроногеометрии доопределяются некоторыми дополнительными соображениями. В данном случае имеем аналогичную ситуацию. БСКО ранга (2,2) должна быть дополнена спинорными параметрами, оставшимися в БСКО ранга (3,3) после выделения из нее БСКО ранга (2,2) как подсистемы, т. е. спинорные параметры определяют угловые переменные.

8. Определение интервалов или расстояний между событиями еще не означает, что эти интервалы соответствуют 4-мерному пространству-времени Минковского (или близки к отношениям в нем). Завершающий шаг на пути к классическим пространственно-временным отношениям состоит в доказательстве того, что введенные отношения (интервалы) между событиями удовлетворяют (в каком-то приближении) закону унарной системы вещественных отношений (УСВО) ранга (6,а), записанному в (12.3.1). Это не простая задача. При ее решении исходным является базовое 6×6 -отношение, которое теперь должно записываться не для 6 элементов, составляющих две взаимодействующие частицы, а для элементов, соответствующих 6 различным (классическим) частицам.

9. Наконец отметим, что в бинарной геометрофизике имеет место обратный традиционному порядок определения основных понятий механики. В общепринятой теории исходят из готового координатного пространства-временя, т. е. из известных координат частиц (x^μ), затем вводится понятие импульса (p_μ), и только потом из импульса и координат определяется классическое действие (S):

$$x^\mu \rightarrow p^\mu \rightarrow S. \quad (16.3.13)$$

В бинарной геометрофизике, наоборот, более первичными являются импульс (из БСКО ранга (3,3)) и действие (из БСКО ранга (2,2)), а затем из них выводятся понятия (прообразы) координат и категория пространства-времени:

$$(p^\mu \oplus S) \rightarrow x^\mu. \quad (16.3.14)$$

16.4. Реляционная интерпретация квантовой механики

В рамках бинарной геометрофизики имеет место специфическая реляционная интерпретация квантовой механики. Сразу же подчеркнем, что как фейнмановская формулировка не противоречит принципам квантовой механики, а представляет собой иной взгляд на ее содержание, так и реляционная интерпретация не противоречит выводам уже сложившейся квантовой механики. Более того, в ряде положений она усиливает и развивает ее принципы. В связи с этим следует еще раз напомнить слова Р. Фейнмана о том, что наличие различных формулировок одних и тех же закономерностей существенно для выбора пути от известного к неизвестному. Реляционная интерпретация квантовой теории призвана расчистить путь, по которому можно было бы дальше «шагнуть в неизвестное».

16.4.1. Суть реляционной интерпретации

1. Современная квантовая механика построена в рамках *дуалистической теоретико-полевой парадигмы*. В ней одной из двух ключевых категорий является априорно заданное классическое пространство-время, а в качестве другой выступает поле амплитуды вероятности (как самих фермионных частиц, так и бозонных полей переносчиков взаимодействий). Новая реляционная интерпретация формулируется на базе не дуалистической, а реляционной *монистической парадигмы*, которая основана на одной ключевой категории бинарных систем комплексных отношений. Таким образом, главное отличие реляционной интерпретации квантовой механики от копенгагенской и всех иных имеет парадигмальный характер, т. е. обусловлено использованием разных метафизических парадигм.

2. В стандартном изложении квантовая механика не претендует на обоснование свойств пространства-времени. Поля микрочастиц и переносчиков взаимодействий вкладываются в априорно заданное пространство-время, причем понятие поля бессмысленно в отсутствие пространственно-временного фона, на котором оно определяется. В реляционном же подходе нет подобного фона, и предлагается выводить пространственно-временные отношения из более первичных комплексных отношений, причем параллельно с формированием квантовомеханических закономерностей. Другими словами, реляционная интерпретация квантовой механики тесно связана с теорией пространства-времени (с геометрией).

В рамках бинарной геометрофизики фактически предлагается решение проблемы, которую сформулировал еще Луи де Бройль на заре

становления квантовой механики. В частности, им отмечалось, что в ней понятия пространства и времени «нужно было бы заменить другими понятиями, играющими фундаментальную роль в микропроцессах». Напомним также сделанное им тогда замечание о том, что пока эта задача не решена, «нас все время будет беспокоить чувство, что мы пытаемся втиснуть алмаз в оправу, которая ему не подходит» [13, с. 187]. Прошедшие с тех пор годы свидетельствуют о том, что это чувство беспокоило не только де Бройля, но и многих других физиков XX в. Более того, оно не оставляет их и по сей день.

3. Главной чертой квантовой механики, как в общепринятой копенгагенской интерпретации, так и в реляционной, является ее вероятностный характер. Именно это свойство заложено в основу теории бинарных систем отношений, где два множества элементов определяют состояния систем (микросистем) в начале и в конце элементарного звена процесса, а парные отношения характеризуют амплитуду вероятности возможных переходов (реализации процесса). Эта математическая конструкция, положенная в основу бинарной геометрофизики, отражает сущность квантовой механики и в то же время соответствует идее Аристотеля о соотношении возможности и действительности. Наличие системы отношений (ее возникновение в момент излучения) означает создание матрицы из парных отношений, определяющей возможные исходы процесса взаимодействия.

В связи с этим хотелось бы отметить созвучие развиваемой здесь программы со словами В. Гейзенberга, сказанными по поводу интерпретации квантовой механики, намеченной в работе Бора, Крамерса и Слэтера: «С введением волны вероятности в теоретическую физику было введено совершенно новое понятие. В математике или статистической механике волна вероятности означает суждение о степени нашего знания фактической ситуации. (...) Но волна вероятности, по Бору, Крамерсу и Слэтеру, была чем-то гораздо большим. Она означала нечто подобное стремлению к определенному протеканию событий. Она означала количественное выражение старого понятия «потенция» аристотелевской философии. Она ввела странный вид физической реальности, который находится приблизительно посередине между возможностью и действительностью» [43, с. 16].

В другом месте В. Гейзенберг писал: «Понятие возможности, которое играет решающую роль в философии Аристотеля, в современной физике снова заняло центральное положение. Математические законы квантовой теории можно рассматривать как количественную формулировку аристотелевских понятий «динамис» или „потенция“» [43, с. 393]. Именно это **«понятие возможности»** в виде комплексных отношений между элементами бинарных систем занимает центральное положение в основаниях бинарной геометрофизики,

причем еще более существенное, нежели в общепринятой квантовой механике.

4. Понятие системы отношений в реляционной интерпретации заменяет то, что в общепринятой физике (в квантовой механике) интерпретируется как распространение волны излучения. В реляционном подходе нет распространения чего бы то ни было. Процесс поглощения излучения одновременно означает исчезновение соответствующей системы отношений.

Общепринятые представления о распространении волны излучения и затем его поглощении, т. е. о «редукции волнового пакета» зачастую вызывают ряд недоразумений, поскольку трактовка волны как реально существующей в пространстве-времени и ее редукция в приемнике многими понимается как процесс «схлоонивания» материальной волны практически в точку с бесконечной скоростью. Строго говоря, в копенгагенской интерпретации квантовой механики уже заложено предостережение о недопустимости подобной столь упрощенной трактовки волны излучения, однако в бинарной геометрофизике эта мысль реализована в более чисткой форме.

5. С позиций бинарной геометрофизики введение волновой функции обусловлено невозможностью применения к отдельным микрочастицам понятия координаты (положения), а следовательно, их нельзя характеризовать отдельными точками в унарной геометрии. Это является следствием более первичных понятий и закономерностей, из которых предлагается выводить как саму геометрию, так и понятие волновой функции на ней.

В копенгагенской же интерпретации квантовой механики исходят из факта невозможности классического описания микрочастиц на фоне готового пространства-времени, фактически предлагается смириться с этим и довольствоваться специфическими «правилами игры». В ней основным понятием (примитивом теории) предлагается считать волновую функцию микросистем, которая, по существу, является неким «черным ящиком», из которого по установленным правилам извлекают необходимую информацию. Такой подход неизбежен, если исходить из *априорно заданного* классического пространства-времени.

6. В общепринятой копенгагенской интерпретации квантовомеханические закономерности приписываются самой микрочастице. Согласно принципу дополнительности Н. Бора, геометрические и динамические свойства частиц дополняют друг друга, точность их измерения характеризуется квантовомеханическим принципом неопределеностей. В реляционной интерпретации эта неопределенность присуща не самим выделенным частицам, а их отношениям с другими частицами, определяемыми огромной совокупностью элементарных систем отношений (совокупностью незавершившихся процессов излучения).

7. В реляционной интерпретации сще более возрастает и становится более понятной роль макроприбора в описании микрочастиц, поскольку, во-первых, сами параметры элементов имеют смысл лишь относительно базиса системы отношений и, во-вторых, сам базис должен быть достаточно сложным, чтобы можно было говорить о статистическом получении пространственно-временных отношений. Теперь оказывается, *макроприбор не только влияет на состояния частицы и трактовку результатов эксперимента, но и в значительной степени становится ответственным за сами классические пространственно-временные представления.*

16.4.2. Реляционное обоснование ряда понятий квантовой механики

В рамках реляционного подхода *дается теоретическое обоснование ряда феноменологически установленных понятий и процедур общепринятой квантовой механики.*

1. Прежде всего, к ним следует отнести введение в квантовой механике понятия комплексной амплитуды вероятности, из которой определяется в виде квадратичной комбинации классическая плотность вероятности. Действительно, у всех, приступающих к изучению квантовой механики, возникает вопрос, почему в ней исходят не прямо из понятия вероятности (или плотности вероятности), а из квадратного корня из вероятности? Некоторые не могут смириться с этим обстоятельством и пытаются переформулировать квантовую теорию непосредственно на основе понятия плотности вероятности.

В реляционном подходе на основе бинарных систем комплексных отношений ответ на этот вопрос содержится в необходимости перехода от исходных БСКО к унарной геометрии (к унарным системам вещественных отношений) и к другим понятиям классической физики, который осуществляется посредством определения вещественных унарных отношений через квадратичные комбинации из комплексных бинарных отношений.

2. Следующий вопрос связан с использованием в квантовой теории комплексных величин вместо привычных в геометрии и в классической физике вещественных величин. Это обстоятельство объясняется тем, что в физике микромира теряет силу ряд привычных свойств геометрии, в частности, классическое понятие больше-меньше. В современной квантовой теории данный факт отражен широким использованием комплексных чисел, у которых нет свойства линейной упорядоченности, как это имеет место для вещественных чисел, которыми описывается классическое пространство-время. В силу этих причин и первичные отношения бинарной геометрофизики описываются комплексными числами.

3. Еще одним обстоятельством в квантовой теории является наличие векторов в двух пространствах, что в аксиоматике квантовой механики Дирака [55] отражено двумя типами векторов: со-векторов «бра» и векторов «кет». Скалярные произведения в квантовой теории строятся из совокупности векторов двух типов, например $\langle B|A \rangle$. Как пишет Дирак, «из данных здесь определений видно, что со-векторы имеют совсем иную природу чем векторы, и до сих пор между ними не было никакой связи за исключением возможности образования скалярного произведения для любого вектора и со-вектора» [55, с. 38]. В бинарной геометрофизике векторы и со-векторы соответствуют двум множествам элементов, на которых строится теория бинарных систем комплексных отношений. Их скалярные произведения определяют парные отношения между элементами двух множеств. Для свободных частиц со-вектор находится во взаимно однозначном соответствии с вектором, т. е. является комплексно сопряженным вектору.

4. Важным свойством микрочастиц в квантовой теории является их волновой характер. В реляционной интерпретации квантовой механики истоком волновых свойств является цикличность (компактифицированность) первичных отношений, описываемая БСКО ранга (2,2). Напомним, при переходе от БСКО ранга (3,3) к унарной геометрии классические расстояния предлагалось получать из конформных факторов, являющихся элементами БСКО ранга (2,2). Согласно свойствам элементарных частиц, комплексный конформный фактор должен иметь модуль, равный единице, что и означает циклический характер ($\sim \exp(i\varphi)$) ключевых понятий теории микромира.

5. Другой причиной волновых свойств является представление показателя экспоненты в виде $\varphi \sim (\vec{p}\vec{x})$, т. е. в виде скалярной комбинации двух понятий: импульса (скорости) и координаты, соответствующих двум унарным геометриям, которые получаются близким методом квадрирования из одной и той же первичной БСКО ранга (3,3). Этим шагом устанавливаются комплексные циклические отношения между частицами (элементами) окружающего мира. Но цикличность отношений еще не означает волновых свойств.

6. Волновой характер поведения частицы возникает лишь в результате дополнительного постулата, чуждого реляционному подходу к микромиру, о распространении частицы в готовом пространстве-времени, что достигается введением текущей времени-подобной координаты x^0 и превращением фазового вклада в классическое действие ($\varphi \rightarrow iS/\hbar$). Поскольку классическое действие определяется вдоль одной времени-подобной мировой линии частицы, а отношения задаются между исходным состоянием (положением) частицы и всеми другими окружающими частицами, то не остается ничего иного, как дополнить постулат распространения возможностью эволю-

ции вдоль множества траекторий, всеми возможными способами как бы соединяющими исходное состояние частицы со всеми другими.

7. Еще один важный вопрос, возникающий при освоении квантовой теории, связан со спинорностью частиц. Справедливо считается, что спин является сугубо квантовым понятием. Однако нередко возникает вопрос: почему основные виды элементарных частиц описываются именно спинорными волновыми функциями? Если исходить из классических представлений, казалось бы, ничто не мешает частицам быть скалярными или векторными. В общепринятом подходе наиболее убедительный ответ на этот вопрос состоит в том, что из спинорных величин можно построить скалярные и векторные величины, а наоборот нельзя, т. е. спинор представляется самым простым объектом.

В бинарной геометрофизике *спинорность частиц получает строгое логическое обоснование*: элементы ключевой БСКО ранга (3,3) описываются 2-компонентными спинорами. В теории, опирающейся на БСКО более высокого ранга, 2-компонентные спиноры характеризуют внешние свойства элементарных частиц.

Одним из существенных отличий бинарной геометрофизики от общепринятой квантовой теории является то, что в ней спиноры получаются не извлечением квадратного корня из классических векторов, как это делается в квантовой механике, а наоборот, — векторы и другие величины выводятся из спиноров как более первичных понятий теории.

Из строгого алгебраического подхода к спинорам на основе алгебры Клиффорда над полем вещественных чисел делается вывод, что характер спиноров (вещественность, комплексность или кватернионность, число компонент и т. д.) определяется пространством, в котором они вводятся. В бинарной геометрофизике предлагается обратный ход: из вида первичных спиноров определяются свойства соответствующего им пространственно-временного многообразия. В понятии 2-компонентных спиноров содержится прообраз (причина) как размерности, так и сигнатуры классического пространства-времени.

8. В рамках бинарной геометрофизики (реляционного подхода) обосновывается вид общепринятых лагранжианов для взаимодействующих микрочастиц, причем это делается на основании специфических свойств теории систем отношений. Прообраз действия частиц, оказывается, представляет собой своеобразный объем бинарной геометрии.

16.5. Взгляд на дуалистические парадигмы со стороны монистической

Рассмотренное в этой главе монистическое миропонимание позволяет с наиболее общих позиций, как бы свысока, взглянуть на суть и содержание трех дуалистических миропониманий, изложенных в предыдущих частях книги.

16.5.1. Ключевой характер реляционного подхода

Дуалистическое реляционное миропонимание имеет неоспоримое преимущество по сравнению с двумя другими миропониманиями. Именно со стороны этой парадигмы осуществлялся переход к бинарной геометрофизике, поэтому наиболее понятным и естественным выглядит обратный переход от монистической парадигмы к теориям реляционного подхода.

Остановимся здесь на некоторых общих чертах монистического и дуалистического реляционного подходов, связанных с осуществлением суммирований, столь важных при раскрытии макроскопической природы классического пространства-времени. Напомним главные из них отдельно в реляционном описании классической физики и в бинарной геометрофизике.

I. Реляционное описание классической физики.

1. При описании гравитационных взаимодействий через диагональные миноры (из матрицы в токовом законе) возникали слагаемые с участием третьих частиц. Действие «свободных» частиц, вводилось путем суммирования миноров с участием выделенной частицы по всем третьим частицам окружающего мира.
2. В работах Р. Фейнмана и Дж. Уилера в рамках теории прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия было показано, что учетом всех частиц окружающего мира можно устранить опережающие взаимодействия, что также свидетельствует о необходимости учета всех частиц окружающего мира уже в рамках классической теории.
3. Суммирования по частицам рассматриваемых объектов (учет фактора $b \rightarrow m$) производились при получении суммарных зарядов тел q из зарядов $\pm e$ идеализированных микрочастиц, составляющих макротела. Напомним, что принцип Фоккера записывается именно для взаимодействующих макрообъектов (см. гл. 13).
4. Аналогичным суммированием в классической теории вводились эффективные массы в виде совокупности квадратичных слагаемых из электрических зарядов.
5. В классической теории зависимость масс частиц от окружающего мира вводится с участием перенормирующего коэффициента C_2 в разд. 13.7.

II. Бинарная геометрофизика.

1. При рассмотрении массовых блоков базового 4×4 -отношения (в рамках БСКО ранга (4,4)) было показано, что если ограничиться лишь двумя взаимодействующими частицами, то масса любой из них оказывается зависящей от свойств другой частицы.

Исходя из этого, индивидуальное значение массы частиц предложено вводить через сумму всех базовых 4×4 -отношений выделенной частицы со всеми частицами окружающего мира в рамках данной (одной и той же) БСКО ранга (4,4).

2. В рамках БСКО ранга (4,4) было показано, что прообраз «свободной» части действия частицы получается путем суммирования индивидуальных блоков базового 4×4 -отношения с участием выделенной частицы по всем частицам окружающего мира. Это суммирование включало в себя лишь внутренние характеристики окружающих частиц. Таким образом, было продемонстрировано, что в мире не может быть свободных частиц. То, что называется «свободной» (или динамической) частью действия, на самом деле представляет собой специфический результат взаимодействия частицы со всем окружающим миром (см. гл. 13).

Точно такая же ситуация имеет место в рамках БСКО ранга (6,6). Отличие состоит лишь в большем числе слагаемых с участием барионов.

3. Наконец, суммирования осуществлялись при развитии макроскопического подхода к природе классического пространства-времени.

Монистическое миропонимание, по своей сути являющееся также реляционным, открывает широкие перспективы для новых исследований. Сразу же становится ясным, что за тем, что нами воспринималось как априорно заданное пространство-время, кроется гигантский массив вкладов от процессов окружающего мира, из которого мы извлекаем лишь усредненные понятия в виде расстояний (плоской или искривленной метрики) и физических полей. Можно ожидать, что из конгломерата отношений можно будет выделить более тонкие взаимосвязи между объектами (материальными структурами) и явлениями. Не исключено, что ряд загадочных явлений из области биологии, сознания или психики человека представляет собой проявления подобных взаимосвязей между достаточно сложными биологическими объектами.

16.5.2. Осмысление понятий теоретико-полевого подхода

Изложенная здесь концепция формирования категорий пространства-времени и полей переносчиков взаимодействий противоречит глубоко укоренившемуся мнению, согласно которому содержательная картина мира может быть построена лишь в рамках теории поля (концепции близкодействия). Данный подход свидетельствует о необходимости отказа от ряда укоренившихся иллюзий.

1. Выше уже неоднократно отмечалось, как много затруднений у мыслителей прошлого вызвало понимание пространства и времени. Можно высказать уверенность, что подобно тому, как в прошлом теплород был заменен представлениями о молекулярно-кинетической природе тепла, так и в физике XXI в. понятие пространства (-времени) будет заменено представлениями об элементарных бинарных отношениях между частицами, которые в своей совокупности составляют идею расстояний (интервалов) в пространстве-времени. Глубоко были правы Г. Лейбниц и Э. Мах, утверждавшие, что без материи (частиц) нет и пространства и времени, что последние являются лишь особыми отношениями между материальными событиями (объектами).

2. Понятие поля как самостоятельной категории следует считать фикцией, эфемерным понятием типа эфира, флогистона, теплорода и тому подобных изобретений человеческого разума. Однако это не исключает возможности и целесообразности использования этого понятия, отдавая себе отчет в его вторичной (вспомогательной) сущности. Концепция близкодействия и понятие поля явились плодотворными на определенном этапе развития физических представлений, подобно тому, как в свое время были плодотворны концепции эфира или теплорода. Возникшие в связи с теплородом понятия теплоемкости и передачи тепла используются по настоящее время, и никто не собирается от них отказываться.

3. Излагаемая здесь теория в корне противоречит ныне господствующим представлениям о физическом вакууме. (Это не относится к введению вакуума в квантовой теории поля как наимизшего состояния, на которое действуют операторы рождения и уничтожения частиц. В таком его понимании это не более как формальный технический прием вычислений, не вызывающий возражений.) Предлагаемый здесь *макроскопический подход к природе классического пространства-времени не совместим с представлением о вакууме как о реально существующей субстанции* независимо от того, вносится ли он в уже постулированное пространство-время, как это предполагается большинством исследователей, или этот «бурлящий» вакуум в микромасштабах создает флуктуации метрики (самого пространства-времени), как это утверждалось в геометродинамике Уилера [165].

Согласно излагаемой здесь теории, все, что принято ныне ассоциировать с флуктуациями вакуума, следует трактовать через вклады на рассматриваемые микропроцессы со стороны явлений (процессов) окружающего мира. На наш взгляд, такой подход более содержателен и обладает значительно большими перспективами, поскольку заменяет идеализированные (надуманные) представления о самостоятельности локальных свойств систем на их обусловленность реальными процессами в окружающем мире в соответствии с принципом Маха.

4. Бинарная геометрофизика и макроскопический подход к природе классического пространства-времени представляет собой альтернативу суперструнному (супермембранныму) направлению исследований, рассмотренному в гл. 7, столь модному в теоретической физике конца XX в.

16.5.3. От бинарной геометрофизики к многомерным геометрическим моделям

Напомним, что базовое 6×6 -отношение, введенное в бинарной геометрофизике, является прообразом трех ключевых понятий современной теоретической физики: 1) действия (и родственных ему лагранжиана и гамильтониана), 2) S-матрицы в теоретико-полевом миропонимании и 3) многомерной метрики в геометрическом миропонимании. Здесь рассмотрим механизм возникновения многомерной метрики.

Из изложенного представления базового 6×6 -отношения (или 4×4 -отношения в упрощенной модели) в виде суммы из 9 блоков видно, что скорости выделенной частицы входят в левый верхний блок квадратично, в средний диагональный блок линейно, а в оставшиеся блоки либо вообще не входят, либо из внешних компонент строятся массовые слагаемые. После проведения процедуры декомпактификации представим компоненты 4-мерных скоростей в форме dx^μ/ds , а заряды частиц, записанные через дополнительные параметры отношений, переопределим в виде производных от дополнительных координат dx^5/ds (для электрического заряда), dx^6/ds и т. д. при описании сильных и электрослабых взаимодействий. Для описания массовых слагаемых нужно в массовые блоки ввести слагаемые вида dx^4/ds , соответствующие 5-мерной теории О. Клейна. После этого переобозначения и умножения на формально введенный множитель ds^2 базовое 6×6 -отношение примет вид многомерной квадратичной формы из смешений выделенной частицы [28].

Далее уже можно применять описанные в 3-й части книги процедуру $4+1+\dots$ -расщепления, соответствующую разложению (расщеплению) БСКО ранга (6,6) на две подсистемы рангов (3,3) и (4,4). В рамках многомерной теории Калуцы—Клейна эта процедура соответствует применению монадного, диадного, ..., s-адного методов расщеплений n-мерного многообразия на 4-мерное классическое пространство-время и ортогональные ему дополнительные размерности.

После процедуры расщепления возникают прообразы компонент 4-мерной искривленной метрики, определяемой суммой метрики пространства Минковского и квадратичных вкладов от смешанных компонент метрики, что соответствует виду 4-мерной метрики в теориях Калуцы—Клейна. При этом смешанные компоненты метрики следует по прежнему интерпретировать как элементарные прообразы потенциалов электромагнитного и других «промежуточных векторных полей».

Из изложенного в этой главе вытекает ряд принципиальных следствий.

1. *Меняется понимание сути проблемы квантования гравитации.* Поскольку в бинарной геометрофизике гравитационные взаимодействия имеют вторичный характер, обусловленный электромагнитными взаимодействиями, то оказывается бессмысленным введение особых квантов гравитационного поля — гравитонов — по образу и подобию квантов фотонов и других бозонных переносчиков взаимодействий.

2. *Становятся понятными причины плодотворности (привлекательности) идей Т. Калуцы, О. Клейна, Ю. Б. Румера и других авторов о многомерности геометрии физического пространства-времени.* Все объясняется тем, что в рамках бинарной геометрофизики физические взаимодействия описываются БСКО более высоких рангов, нежели ранг (3,3), т. е. истоком общепринятого (унарного) многомерия является бинарное многомерие.

3. *Становится понятной компактификация дополнительных размерностей в теориях Калуцы Клейна.* Как уже отмечалось, вряд ли возможно обосновать компактификацию дополнительных размерностей классическими геометрическими методами. В исследованиях по теории Калуцы—Клейна обычно исходят из ничем не оправданной посылки о первичности некомпактифицированных координатных размерностей и пытаются объяснить компактификацию части из них. В бинарной геометрофизике, наоборот, предлагается обоснование четырех классических некомпактифицированных размерностей, исходя из первично компактифицированных понятий в виде фазовых вкладов. При этом оказывается, что многомерным является лишь импульсное пространство. Координатный партнер имеется только для четырех импульсных компонент. С точки зрения бинарной геометрофизики процедура компактификации дополнительных координатных размерностей означает всего лишь такое исправление исходных положений, при котором бы дополнительные координаты пропали, а соответствующие им импульсы остались. Это достигается постулированием циклической зависимости от лишних координат.

Имеются и другие следствия.

16.6. От сути пространства в физике к проблемам теории множеств в математике

Рассмотренный выше переход от понятий бинарной геометрофизики к классическим пространственно-временным отношениям (к классической геометрии) самым непосредственным образом затрагивает основания не только физики, но и всей математики. Выше уже упомина-

лась дискуссия между В. И. Арнольдом и французской математической школой Н. Бурбаки о соотношении математики и физики, нашедшая отражение в статье Арнольда «Математика и физика: родитель и дитя или сестры» [4]. Даже независимо от этой дискуссии есть все основания полагать, что принципы метафизики и процессы, происходящие в фундаментальной теоретической физике, проявляются и в других разделах науки, в том числе и в математике.

По мнению автора, аналогичную книгу с названием «Метафизика» можно было бы написать на материале не физики, а математики. Убежденность в этом подкрепляется тем, что до самого последнего времени физические теории строились на базе классического пространства-времени аналогично тому, как в основу математических теорий клалась теория множеств. Как пишет П. Вопенка, внесший значительный вклад в развитие аксиоматической теории множеств: «Все математические объекты, созданные в дотеоретико-множественной математике, могут быть заново построены как структуры в теории множеств. Точнее, эти объекты можно задать в теории множеств их каноническими моделями, так, что изучение оригинальных объектов заменялось изучением соответствующих моделей. В некоторых случаях эта замена влияет и на исходные понятия и влечет за собой их модификацию в согласии с рассматриваемой моделью. В качестве примеров можно привести действительные числа, исчисление бесконечно-малых и т. д. (...) Теория множеств открыла путь к изучению необъятного количества различных структур и беспрецедентному росту знаний относительно них. Это привело к распылению математики. Кроме того, большинство результатов такого рода приобретают смысл только за счет существования соответствующей структуры в канторовской теории множеств» [38, с. 12–13].

Аналогично тому, как в физике использование классического пространства-времени неизбежно приводит к ряду упомянутых выше проблем с расходимостями и описанием закономерностей в микромире, так и в математике опора на теорию множеств вызывает ряд проблем. На это обращали внимание многие математики. Так, П. Вопенка пишет: «Канторовская теория множеств ответственна за это ущербное развитие математики; с другой стороны, она накладывает на математику ограничения, которые не так легко преодолеть. Все структуры, изученные в математике, априори жестко связаны, и роль математика есть просто роль наблюдателя, их описывающего (...) Это ставит под вопрос роль математики как научного и полезного метода. Математика может быть низведена к простой игре, происходящей в некотором специфическом искусственном мире. Это не опасность для математики в будущем, а непосредственный кризис современной математики» [38, с. 14].

В настоящее время внутри математики идет активная, но внешне малозаметная деятельность по созданию новой универсальной, нетеоретико-множественной концепции.

Перечислим ряд моментов в математике, тесно связанных с сущностью канторовской теории множеств и имеющих аналогии в физике.

1. В математике весьма условно принято разделять алгебру и геометрию. Это приводило к выделению двух подходов: алгебраического и геометрического. Как неоднократно заявлял Кантор, основной целью своих работ он считал синтез арифметических (алгебраических) и геометрических представлений. Эта задача им решалась на основе теории множеств.

Напомним, в свое время со стороны физики аналогичная задача решалась Декартом, когда геометрические построения в физике были представлены в аналитическом виде. В итоге была построена известная теория классического пространства-времени.

2. В XX в. в математике, как и в физике (при анализе квантовой теории или общей теории относительности), большое внимание уделялось аксиоматике. Очевидно, что аксиоматика отражала сложившуюся в математике парадигму, опирающуюся на теорию множеств. Однако этот подход, как и в физике, не привел к желаемым результатам. Как пишет В. И. Арнольд, «продолжающаяся, как утверждают, 50 лет аксиоматизация и алгебраизация математики привела к неудобочитаемости столь большого числа математических текстов, что стала реальностью всегда угрожающая математике угроза полной утраты контакта с физикой и естественными науками (...) Характерным признаком аксиоматически-дедуктивного стиля являются немотивированные определения, скрывающие фундаментальные идеи и методы; подобно притчам, их разъясняют лишь ученикам наедине» [3, с. 7].

3. По современным представлениям, канторовская теория множеств является основой понятия вещественного числа. При определениях пределов, признаков сходимости и в ряде других мест используется понятие больше—меньше, что заложено в определении вещественных чисел и может быть определено в теории множеств. Однако квантовая теория и физика микромира показывают, что основания физики описываются комплексными числами — амплитудами вероятности, для которых понятие больше—меньше в принципе отсутствует. Изложенный в этой главе материал показывает, как в физике осуществляется переход от компактифицированных понятий, описываемых фазами единичных по модулю комплексных чисел, к понятиям, характеризуемым вещественными числами. Это заставляет усомниться в сохранении канторовской теории множеств в качестве основы математики будущего.

4. В согласии с метафизическими принципами фрактальности и триединства, в свойствах вещественных чисел можно выделить три

стороны: непрерывность, порядковую и количественную. Относительно первой из названных сторон А. Н. Колмогоров писал: «В случае континуума действительных чисел уже рассмотрение одного его элемента — действительного числа — приводит к изучению процесса образования его последовательных приближений, а рассмотрение всего множества действительных чисел приводит к изучению общих свойств такого рода процессов образования его элементов. В этом смысле сама бесконечность натурального ряда, или системы всех действительных чисел (континуума), может характеризоваться как бесконечность лишь потенциальная (...) Выяснение вопроса о том, в какой мере и при каких условиях при изучении бесконечных множеств можно абстрагироваться от процесса его образования, еще нельзя считать законченным» [87]. Здесь речь идет о процессе в определении континуума, что можно сопоставить с процессом изменения отношений между элементами в бинарной геометрофизике.

5. Относительно количественных и порядковых свойств вещественного числа в приложении ко времени Г. Вейль в своей книге «Das Kontinuum» отмечал следующее: «Если моменты времени с их отношением «раньше» и «позже» могут действительно служить фундаментом чистой теории времени, то в созерцании времени должен быть заложен ответ на вопрос: имеется ли такого рода соответствие между моментами времени и действительными числами или нет? Если оно отсутствует, то следует попытаться так расширить или изменить наши дефиниционные принципы, чтобы достигнуть желаемого согласия. Если же это окажется недостижимым, то чисто арифметический анализ лишается реальной ценности, и учение о континууме придется рассматривать как нечто самостоятельное и стоящее на одной ступени с учением о числе (...) Для объективного представления времени получается вот что: 1) отдельная временная точка не является самостоятельной; 2) каждый момент времени непредсказуем, возможна лишь приближенная фиксация (...) Не от нашей воли зависит то, что мы не можем связать непрерывность с системой целых чисел. И все же, кто знает, что еще дремлет в лоне физики будущего — квантовой теории!» [19]. Отметим, что книга Вейля была написана в 1917 г.

6. По старой философской традиции, «количество» замкнуто на пространство, а «порядок» — на время (на процесс). Поскольку в теории множеств акцент делается на количественную природу числа, то понятие процесса не включено во внутреннее ее свойство. Таким образом, существенным моментом всей теории множеств является ее статичность, родственная представлениям Платона о неизменных свойствах мира высшей реальности.

Аналогом статичности в теории множеств является статичность пространственно-временного многообразия. Оно в физике полагается

заданным, а эволюция систем описывается дополнительным приемом последовательного рассмотрения пространственных сечений, ортогональных линиям времени. Как в свое время заметил Э. Шредингер, публичный успех теории относительности связан со своеобразным способом «приручения» времени, сведением его свойств к пространственным. Этот дополнительный прием в ньютоновой физике (или в теоретико-полевом подходе) заменяется в классической реляционной теории использованием двух ключевых категорий: пространственно-временных отношений (статических) и категорией токовых отношений. В бинарной геометрофизике в самое основание теории положено элементарное звено процесса перехода системы из одного в иное состояние.

7. Представления, связанные с опорой лишь на статичность, приводят к ряду парадоксов, которые отражены, например, в апориях Зенона. В книге Д. Гильберта и П. Бернайса «Основания математики» по поводу этого парадокса сказано: «Обычно этот парадокс пытаются обойти рассуждениями о том, что сумма бесконечного числа этих временных интервалов все-таки сходится и дает конечный промежуток времени. Однако это рассуждение абсолютно не затрагивает один существенный парадоксальный момент, а именно парадокс, заключающийся в том, что некая последовательность следующих друг за другом событий, последовательность, завершаемость которой мы не можем себе даже и представить (не только фактически, но хотя бы даже в принципе), на самом деле все-таки должно завершиться» [45, с. 40].

Эти авторы указывают на принципиально важный ход разрешения данного парадокса, фактически соответствующий принципам построения бинарной геометрофизики: «В действительности, конечно, существует более радикальное решение этого парадокса. Ведь на самом деле мы вовсе не обязаны считать, что математические пространственно-временные представления о движении являются также физически осмыслимыми и в случае произвольно малых пространственных и временных интервалов. Более того, у нас имеются все основания предполагать, что, стремясь иметь дело с достаточно простыми понятиями, эта математическая модель экстраполирует факты, взятые из определенной области опыта, а именно из области в пределах того порядка величин, которые еще доступны нашему наблюдению, подобно тому как совершают определенную экстраполяцию механика сплошной среды, которая кладет в основу своих рассмотрений представление о непрерывном заполнении пространства материсей. Подобно тому, как при неограниченном пространственном дроблении вода перестает быть водой, при неограниченном дроблении движения также возникает нечто такое, что едва ли может быть охарактеризовано как движение. Если мы встанем на эту точку зрения, то этот парадокс исчезает» [45, с. 41]. Это следует понимать так, что в основу математики

не может быть положен континуум в виде непрерывной совокупности точек.

8. В теории множеств Кантора имеется существенный дефект, связанный с так называемом диагональным процессом. Суть его состоит в том, что в ряде случаев невозможно говорить о полном множестве, содержащем все свои элементы. Действительно, как только будет объявлено о полном множестве, можно будет определить новый элемент, отличный от всех имеющихся элементов. Как пишет С. А. Векшенов, «диагональный процесс — фатальное открытие теоретико-множественной математики, бросающее тень на основополагающую идею — возможность собрать элементы в одно целое. Это, по-видимому, осознавал и сам Кантор, который пытался придать диагональному процессу статус доказательства того, что множество $P(V_a)$ имеет большую мощность, чем множество V_a . Однако в строгом смысле метаморфозы не получилось. За весь период существования теории множеств с критикой диагонального метода доказательства выступили десятки авторов, начиная с Б. Рассела. Последним по времени был, по-видимому, А. А. Зенкин, который отметил в коротком на полстраницы доказательстве Кантора семь (!) ошибок. При условии того, что диагональный метод является несущей конструкцией канторовской теории, остается загадочным длительное молчание математики о столь фундаментальном дефекте в ее идейных основах» [20, с. 120].

Перечисление дефектов теории множеств Кантора, их следствий в современной математике и параллелей с аналогичными проблемами в физике можно существенно продолжить (см. [20, 21]), поскольку здесь затронут пласт серьезных метафизических проблем, обсуждение которых могло бы составить содержание целой книги. Но это уже задача профессионального (философствующего) математика. Здесь же изложен взгляд физика-теоретика, при этом опирающегося на высказывания самих математиков.

Часть VI

Физика, философия, религия

Р. Декарт в «Началах философии» для пояснения смысла учености использовал образ дерева, сравнив его корни с познаниями в области метафизики, ствол — в области физики, а ветви — со знаниями во всех прочих науках. Действительно, одни и те же метафизические принципы лежат в основе всех областей рационального знания от физики и математики до философии и богословия.

Наиболее рельефно метафизические принципы проявляются в фундаментальной теоретической физики. Это объясняется, во-первых, тем, что данный раздел науки наиболее формализован и в нем широко используются точные математические методы. А во-вторых, теоретическая физика исследует глубинные свойства мироздания, поэтому в ней естественно выявляются и формулируются ключевые принципы метафизики.

Приступая к проблеме распространения сформулированных выше метафизических принципов на философию и религию, мы следуем примеру Нильса Бора, который возвел принцип дополнительности, сформулированный в рамках квантовой механики, в ранг общефилософского (метафизического) принципа.

Решение этой задачи существенно облегчается тем, что в истории философско-религиозной мысли уже давно, в течение более двух тысячелетий, идет процесс формирования и сопоставления друг с другом (а точнее, противостояния) трех видов философско-религиозных мировоззрений: материалистического, идеалистического и религиозного. При этом, наряду с жестким противостоянием этих мировоззрений, известны попытки обоснования их взаимодополнительности. Так, например, русские философы «серебряного века» отстаивали философию триединства (Всеединства — В. С. Соловьев [155]), критикуя философские системы, которые рассекали единое целое под тремя разными углами зрения.

В заключительной гл. 18 рассмотрен вопрос о соотношении науки (физики) и религии. Анализ этого вопроса показывает, что длительный период их противостояния имеет метафизические корни. Метафизический подход к этой проблеме позволяет глубже понять позиции ученых и представителей Церкви и преодолеть препятствия на пути к их конструктивному диалогу.

Фундаментальная теоретическая физика и философия



Сравнительный анализ философско-религиозных учений и фундаментальной теоретической физики позволяет утверждать, что в их основе лежат одни и те же метафизические принципы. Так, принципы тринитарности проявляются в философско-религиозных учениях в виде системы из трех начал (материального, идеального и духовного), соответствующих трем физическим категориям. Представленные в мировой философии (и религии) мировоззрения можно сопоставить с системой рассмотренных в книге естественнонаучных миропониманий.

В философско-религиозных учениях также легко усмотреть проявления принципа фрактальности. Если (теоретическую) физику трактовать как теорию материального начала философско-религиозных учений, то изложенное в предыдущих частях книги можно воспринимать как проявление общефилософского принципа фрактальности в одной из выделенных частей единого целого, составляющего предмет философской мысли.

Распространяя опыт, приобретенный при анализе современных проблем теоретической физики, можно под новым углом зрения взглянуть на суть довольно острых методологических дискуссий в естествознании на протяжении всей истории его развития, включая недавнее прошлое.

17.1. Физики и философы

В XX в. взаимоотношения между физиками и философами оказались сложными. Профессиональные философы, как правило, были не в состоянии помочь естествоиспытателям, которые были вынуждены решать встающие перед ними философские проблемы собственными силами.

Этот факт отмечали многие известные физики. Так, Э. Мах в предисловии к «Познаниям и заблуждениям» писал, что он «вовсе не философ, а только естествоиспытатель. Если меня тем не менее порой, и несколько шумно, причисляли к первым, то я за это не ответствен».

Но я не желаю также, разумеется, быть таким естествоиспытателем, который слепо доверяется руководству одного какого-нибудь философа, как это требовал, например, от своего пациента врач в комедии Мольера. (...) Прежде всего я поставил себе целью не ввести новую философию в естествознание, а удалить из него старую, отслужившую свою службу. (...) Среди многих философских систем, появлявшихся на свет с течением времени, можно насчитать немало таких, которые самими философами признаны ложными (...). Такие философские системы, не только бесполезные в естествознании, но и создающие вредные, бесплодные, мнимые проблемы, ничего лучшего не заслужили, как устранения. Если я этим сделал кое-что хорошее, то это собственно заслуга философов...» [105, с. 32–33].

Позднее некоторые физики-теоретики высказывались по этому вопросу более резко. Например, в «Фейнмановских лекциях по физике» можно найти такие слова: «Эти философы всегда топчутся около нас, они мельтешат на обочинах науки, то и дело порываясь сообщить нам что-то. Но никогда на самом деле они не понимали всей тонкости и глубины наших проблем» [171, с. 24].

Аналогичные претензии сформулированы другим Нобелевским лауреатом С. Вайнбергом в книге «Мечты об окончательной теории» [18], шестая глава которой имеет характерное название «Против философии». «Я знаю, как относятся философы к любительским философским потугам учёных. Но я стремлюсь здесь изложить точку зрения не философа, а рядового специалиста, не испорченного работающим учёного, который не видит в профессиональной философии никакой пользы. Не я один разделяю такие взгляды — мне не известен ни один учёный, сделавший заметный вклад в развитие физики в послевоенный период, работе которого существенно помогли бы труды философов. В предыдущей главе я упоминал о том, что Вигнер назвал «непостижимой эффективностью» математики. Здесь я хочу указать на другое в равной степени удивительное явление — «непостижимую неэффективность философии». Даже если в прошлом философские доктрины и оказывали какое-то полезное воздействие на учёных, влияние этих доктрин затягивалось на слишком долгое время, принося в конце концов тем больше проблем, чем дольше эти доктрины оставались в употреблении» [18, с. 133].

Как нам представляется, в процитированном высказывании Вайнберг имеет в виду не философию вообще, а готовые философские системы. Далее он пишет: «В охоте на окончательную теорию физики больше напоминают собак с хорошим чутьем, чем зорких соколов: мы рыщем в поисках следов красоты, которую надеемся найти в законах природы, но, по-видимому, не можем усмотреть путь к истине с высоты философии». На ряде примеров Вайнберг демонстрирует, что готовые

философские системы в столкновении с физикой, как правило, порождают больше проблем, чем решают. В частности, он приводит пример пагубного влияния философии диалектического материализма на науку в СССР.

Философы постоянно отстают от развития науки, не успевают осознавать запросы и тенденции новейших исследований. Что же касается предмета философии, то он по-прежнему преподается в вузах как *история философской мысли прошлого*, не ориентируя будущих специалистов на решение стоящих перед наукой проблем. А ведь наиболее интересны и плодотворны в этой аудитории идеи и принципы, которые помогут шагнуть в будущее.

Однако создавшаяся ситуация характерна не только для нашего времени. Как известно, с необходимостью решать глобальные мировоззренческие проблемы сталкивались многие выдающиеся ученые, внесшие значительный вклад в развитие естествознания. Среди них назовем Р. Декарта, Г. Галилея, И. Ньютона, Г. Лейбница, Э. Маха, которых заслуженно считают видными философами.

Подобные примеры есть и в физике XX в. Так, В. Гейзенберг в своих воспоминаниях о встречах с Н. Бором писал: «Бор был прежде всего философом, не физиком, но он знал, что в наше время натурфилософия только тогда обладает силой, когда она во всех мелочах выдерживает неумолимый критерий экспериментальной истинности» [44].

Лауреат Нобелевской премии Хидэки Юкава в своих «Лекциях по физике» сказал об Эрвине Шредингере: «У Шредингера склонность к философии была выражена особенно сильно. (...) Он – талантливый физик, имевший очень хорошие работы по термодинамике и статистической физике, – в действительности хотел заниматься философией» [212, с. 24–25].

Большое внимание уделял философии и философскому осмыслению достижений теоретической физики XX в. Вернер Гейзенберг. Прекрасный знаток античной философии, он проводил многочисленные параллели между взглядами Демокрита, Платона, Аристотеля, с одной стороны, и идеями квантовой теории и физики элементарных частиц, с другой. Это достаточно ярко отражено в его книге «Физика и философия. Часть и целое» [43].

Известны слова, в которых, имея в виду Эйнштейна, современник великого ученого не без иронии заметил, что у них в университете есть лишь один настоящий философ, но и тот работает на другом факультете.

Философские идеи выдвигали и на их основе проводили исследования такие выдающиеся ученые нашего времени, как Я. И. Френкель, В. А. Фок, Д. И. Блохинцев, М. А. Марков, А. Д. Сахаров и многие другие.

Напомним, что главная заслуга Платона в развитии математики состоит именно в том, что он под влиянием Пифагора, в противовес Сократу и софистам, считал знание математики необходимым для философов. Поэтому в его «Академию», в которой состояли такие замечательные математики и астрономы, как Архит, Теэтет и Евдокс, вообще не принимались несведущие в точных науках, потому что им «исчез ухватиться за философию» (цит. по [41, с. 135]). «Пусть тот, кто не знает геометрии, не входит сюда», — гласила надпись на дверях «Академии».

В последнее десятилетие много писалось о вмешательстве философии и идеологии в отечественные научные исследования, об обвинениях ученых в идеализме, махизме, солипсизме и в прочих «-измах». Попробуем разобраться в соотношении философских систем и научных программ, опираясь на опыт, накопленный теоретической физикой.

17.2. Три начала и три вида философско-религиозных мировоззрений

Приходится констатировать, что у самих философов наблюдается большой разброс в понимании предмета своей деятельности. Предлагаемые ими определения философии лежат где-то внутри треугольника: наука, искусство, религия.

В течение большей части ХХ в. в нашей стране считалось, что философия — это важнейшая из наук. Так, в «Философском словаре», изданном в 1988 г., сказано: «**Философия** (греч. phileo — люблю и sophia — мудрость) — наука о всеобщих закономерностях, которым подчинены как бытие (т. е. природа и общество), так и мышление человека, процесс познания». Несколько позже В. С. Степин дает определение: «Философия — это наука о возможных человеческих жизненных мирах (подобно тому, как Лейбниц когда-то определял математику как науку о всех возможных мирах)» [160, с. 14].

Иную точку зрения отстаивал Н. А. Бердяев. Отмечая, что «Кант и Гегель, Конт и Спенсер, Коген и Риккерт, Вундт и Авенариус — все хотят, чтобы философия была наукой или наукообразной», он считал, что «Философия ни в каком смысле не есть наука и ни в каком смысле не должна быть научной. Почти не понятно, почему философия пожелала походить на науку, стать научной» [5, с. 48]. И он дает свое определение философии: «*Философия есть искусство, а не наука. Философия — особое искусство, принципиально отличное от поэзии, музыки и живописи, — искусство познания. Философия — искусство, потому, что она — творчество. (...) Философия есть искусство познания в свободе через*

творчество идей, противящихся мировой данности и необходимости и проникающих в запредельную сущность мира» [5, с. 54].

А известный русский философ С. Л. Франк, обсуждая в своей работе «Философия и религия» трактовку сущности философии своими коллегами, писал: «Этому ходячему представлению следует прежде всего противопоставить гораздо более древнюю, универсальную и внутренне обоснованную традицию в понимании существа философии. Согласно этой традиции, по меньшей мере предмет философии и религии совпадает, ибо единственный предмет философии есть Бог. Философия по существу, по целостной и универсальной своей задаче есть не логика, не теория познания, не постижение мира, а Богопознание. Таково господствующее понятие философии в античной мысли, проходящее, начиная от Гераклита, через Платона и Аристотеля, стоицизм и новоплатонизм; таково же средневековое понимание философии» [178, с. 321].

Такое разнообразие в понимании философии, лежащее в пределах названного треугольника, не случайно. Обращение к мировым философско-религиозным системам позволяет обнаружить, что в них, как и в физике, в центре внимания находятся именно три метафизические начала (категории). Например, С. Н. Булгаков в книге «Трагедия философии» писал о трех сторонах, составляющих суть всякой философской системы: «Есть три основных самоопределения мысли, образующих для нее исход и определяющих ее ориентацию, по этим трем рубежам разделяются все философские системы с их основными началами: 1) ипостась или личность; 2) идея ее или идеальный образ, логос, смысл; 3) субстанциальное бытие как единство всех моментов или положений бытия, как реализующееся все. Я есмь Нечто (потенциально все) — эта формула, выражющая суждение, содержит в себе в сокращенном виде не только схему сущего, но потому и схему истории философии. Эту трехчленную формулу, содержащую в себе логическое единство и тройственность моментов, связывающую в нераздельность и несекомость, непрестанно в разных направлениях рассекает философствующая и в произвольности этого рассечения и избрания отдельных начал еретичноствующая мысль, и способом этого рассечения определяется стиль философствования» [14, с. 317].

Не во всем согласимся с С. Н. Булгаковым, полагая, что правильнее было бы в качестве первого начала назвать духовное начало, так как личность является аналогом физического понятия тела отсчета и обязательно присутствует во всех философско-религиозных системах.

Анализ показывает, что в философских и религиозных учениях три метафизические начала (категории) выступают в виде следующих

систем родственных понятий¹⁾: (*И*) *идеальное (рациональное) начало*, связанное с разумом, (*М*) *материальное начало*, бытие, данное в опущениях, и (*Д*) *духовное начало*, воля, вера.

Идеальное начало. Напомним, что в философской и религиозной мысли древней Греции доминировали представления, согласно которым божественный мир проявляется через разум человека. Как уже отмечалось, наука, в частности математика, оформилась и получила свой высокий статус благодаря провозглашению ее божественного характера в трудах мыслителей античности: Пифагора, Платона и их школ. Этот вопрос подробно исследован в трудах П. П. Гайденко [40, 41], В. Н. Катасонова [80, 81] и ряда других авторов. «Греческая философская мысль древности понимает соотношение интеллектуальной и волевой способностей человека по преимуществу в пользу первой. То есть: воля определяется рассудком, интеллектуальным созерцанием. Сократ сформулировал это со всей определенностью: воля стремится туда, куда си указывают представления, „познание“» [81, с. 160].

Позже на основе доминирующей роли идеального начала сформировался ряд идеалистических учений.

Духовное начало сыграло чрезвычайно важную роль в истории мысли. С утверждением на Западе христианства доминанта античности изменилась. На первый план выдвинулось *духовное начало, воля*. Как пишет П. П. Гайденко, «Главное же отличие средневекового понимания человека от античности состоит в том, что *воля оказывается тесно связанный с верой*; вера выступает как направленность воли и предмет веры определяется именно волей, в первую очередь. (...) Таким образом, если в античности центр тяжести этики был в знании, то в средние века появляется ярко выраженная тенденция перенести его из знания в веру, *из разума в волю*. (...) Воля рассматривается как та инстанция, в которой пребывает высшая власть» [41].

Эти взгляды ярко выражены Августином, Дунсом Скотом и многими мыслителями средневековья, считавшими, что рациональное начало (познание, рассудок, разум) определяется волей (духовным началом). К этому направлению богословской мысли примыкали и номиналисты, настаивавшие на приоритете божественной воли и всемогущества перед всеми остальными определениями божественного бытия.

С утверждением христианства в европейской философии важнейшее значение приобретает противостояние двух точек зрения, двух доминант: интеллектуального (идеального) начала и волевого (духовного) начала, на фоне которого происходило становление науки.

¹⁾Следует отметить, что троичность основы мироздания отмечалась во многих религиозно-мифологических системах как Запада, так и Востока.

Материальное начало имело важное значение уже в учениях античных атомистов. В XX в. его определяющая роль была провозглашена марксистско-ленинским диалектическим материализмом, согласно которому материя первична, а сознание, мышление вторично. Напомним известное определение сознания человека как функции «того особенно сложного куска материи, который называется мозгом человека» [98, с. 215]. «Вторичность сознания по отношению к материи, к бытию проявляется в том, что сознание возникает лишь на известной ступени развития материи, развития природы, что сознание в виде идей, теорий возникает у человека лишь в результате отражения им окружающей среды». В марксистско-ленинском учении (вслед за Гегелем) духовное начало не признавалось («идеализм неизбежно ведет к поповщине»), т. е. фактически идеальное начало сливалось с духовным.

17.3. Соответствие физических категорий и философско-религиозных начал

1. По аналогии с тем, как это делалось при анализе оснований теоретической физики, изобразим названные философско-религиозные начала в виде трех ортов (осей) в 3-мерном пространстве, построив на них куб, олицетворяющий единое мироздание (Первоначало), которое является основным предметом философии (см. рис. 17.1).

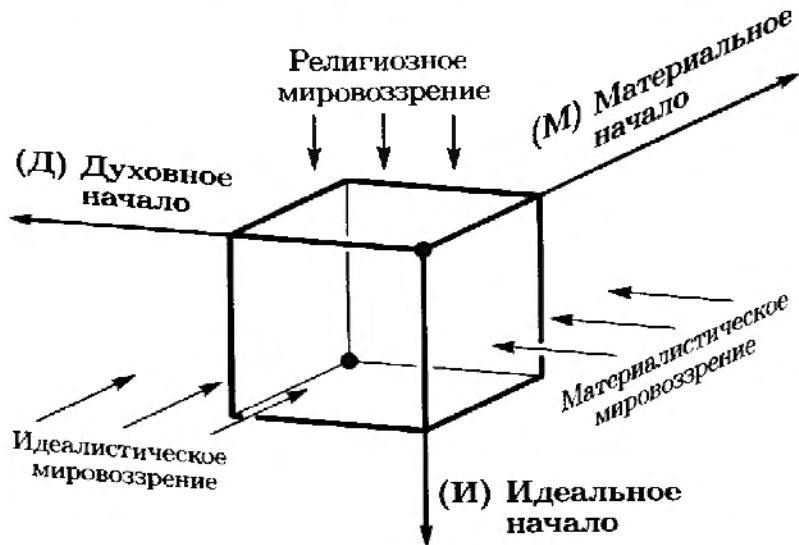


Рис. 17.1. Философско-религиозные начала и мировоззрения

Отметим, что намек на аналогичное наглядное представление единого Первоначала и трех философско-религиозных начал можно усмотреть в следующем высказывании Николая Кузанского: «С помощью числа он (ум. — Ю. В.) улавливает в единстве четвертое; а именно существует простейшее [единство], второе — единство корня, третье —

квадратное, четвертое — кубическое. (...) Ум созерцает собственную универсальную бытийность в этих четырех различающихся единствах. (...) [Ум] изображает эти умственные единства словесными знаками: первое, высший и простейший ум, он называет Богом; второе, единство корня, не имеющее предшествующего корня, он называет разумом (*intelligentia*), третье, квадратичное, (...) он называет душой; последнее же, развертывающее и ничего в себе не свертывающее единство, кубичность, предположительно [называет] телом» [88, с. 193]. Здесь первое начало (Бог) можно уподобить самому кубу, а следующие три начала можно сопоставить с тремя осями: второе (разум) соответствует илеальному началу, третье (душа) — духовному, а четвертое (тело) — материальному.

2. Как отмечал С. Н. Булгаков, истинной может быть лишь триединая философская система, однако обычно философские системы следуют «основному стремлению разума — к логическому монизму, т. е. к логически связному и непрерывному истолкованию мира из одного начала». Так, он писал: «Философские системы, вместо того, чтобы быть философской транскрипцией или, если угодно, схематической разработкой мотивов триединства, оказываются вариантами философии тождества, или, что то же, монизма, причем в качестве вторичной, добавочной характеристики значение получает и то, какой из моментов берется за исходный. Таким образом получается троякая возможность философствующей ереселогии, монистического модализма, и, очевидно, системы философии могут естественно распределиться между тремя обширными группами: а) системы, исходящие из подлежащего или субъекта, Я, или системы идеалистические; б) системы, исходящие из сказуемого, панлогистические; в) системы, исходящие из связи, т. с. из безличного бытия, реалистические, причем реализм этот может иметь различный характер: мистико-созерцательный, эмпирический, материалистический» [14, с. 329].

В соответствии с тремя выделенными началами определим три вида (группы) философско-религиозных мировоззрений: **идеалистическое мировоззрение**, в котором предлагается строить мировосприятие на основе одного идеалистического начала, **материалистическое мировоззрение**, кладущее в основу мира материалистическое начало, и **религиозное мировоззрение**, опирающееся на духовное начало.

3. Однако практика показала, что посредством лишь одного из трех названных начал невозможно охватить действительность во всем ее многообразии. В физике это соответствовало бы попытке построить теорию на основе одной из трех категорий: пространства-времени, частиц или полей переносчиков взаимодействий. В итоге сначала был найден редукционистский подход, в котором рассматривались все три категории (ньютонова механика). И лишь в XX в. постепенно стали переходить

к меньшему числу обобщенных категорий (к двум) с тенденцией поиска одной триединой обобщенной категории.

Философские системы прошлого не являлись столь строгими системами знаний. Долгое время сохранялись иллюзии о перспективности опоры лишь на одно из выделенных начал. Решение проблемы могло состоять в обобщенной трактовке избранного начала, фактически включавшего в себя все три начала, которые проявлялись бы через принцип фрактальности. Фактически именно так и обстояло дело с той лишь разницей, что, во-первых, за проявлениями других начал не желали признавать равноправия с избранным одним началом и, во-вторых, практически речь шла не о всех трех, а лишь о двух философско-религиозных началах.

Анализ трех видов философско-религиозных систем показывает, что три названные системы, – идеалистическая, материалистическая и религиозная – на самом деле представляли собой квазимонистические системы, опирающиеся на обобщенные категории, которые включали в себя по паре из трех названных начал. Так идеалистические системы фактически опирались на идеальное (доминирующее) и духовное начала, материалистические системы – на материалистическое (доминирующее) и идеалистическое начала. Достаточно вспомнить трактовку в диалектическом материализме так называемого «основного вопроса философии». А религиозное мировоззрение строилось на доминирующем духовном и подчиненном ему материальном начале. Достаточно вспомнить, что практически во всех религиозных системах мира Бог (носитель духовного начала) являлся творцом мира, олицетворяющего материальное начало.

Исходя из двойичности обобщенных категорий, на рис. 17.1 изображены три философско-религиозные мировоззрения как видения одного и того же куба, построенного на оси указанных первичных начал, со стороны трех взаимно перпендикулярных граней. Вид на куб сверху, со стороны духовного и материального начал, соответствует *религиозному мировоззрению*, вид на куб со стороны идеального и духовного начал – *идеалистическому мировоззрению* и, наконец, вид на куб справа, со стороны материального и идеального (рационального) начал, – *материалистическому мировоззрению*.

4. Направления и интерпретация трех осей на рис. 17.1 выбраны неслучайно. Они заданы, исходя из соответствия с тремя физическими категориями, изображенными на рис. 1. *Физическую категорию частиц* естественно соотнести с философским материальным началом, *физическую категорию пространства-времени*, являющуюся идеальным (рациональным) понятием, – с идеальным (рациональным) началом в философии, а *физическую категорию полей переносчиков взаимодействий* – с духовным началом в философии (религии).

Последнее сопоставление нуждается в дополнительном пояснении. Так, широко известно евангельское изречение: «Бог — это любовь». В связи с этим вспомним, что еще в античности Эмпедокл объяснял притяжение и отталкивание тел посредством понятий любви и вражды. Позднее взаимодействия стали описываться через понятие поля, в частности, свет в физике описывается электромагнитным полем. Напомним также, что Декарт для описания воздействий ввел специальный вид «духовной материи». Тот же подход прослеживается и у Лейбница, который, говоря об активной природе материи, назвал ее «первичной силой, первой энтелехией, одним словом, душой (anima)».

В «Очерке мистического богословия Восточной Церкви» В. Н. Лосского находим: «Священное Писание изобилует выражениями, относящимися к свету, к Божественному озарению, к Богу, Которому прилагается наименование Света. Для мистического богословия Восточной Церкви это не метафоры, не риторические фигуры, но слова, выражающие реальный аспект Божества. (...) Если Бога называют Светом, так это не только по аналогии со светом материальным. Божественный свет не имеет аллегорического или абстрактного значения: он — реальность, данная в мистическом опыте» [102, с. 164–165].

Исходя из того, что физика, философские и религиозные учения имеют дело с одной и той же реальностью, совместим куб физической реальности, изображенный на рис. 1, с кубом философско-религиозного Первоначала на рис. 17.1, на котором уже были должным образом выбраны направления осей, олицетворяющие три начала. Разнесем начала координат физических и философско-религиозных осей в противоположные концы большой диагонали куба действительности (Первоначала). В итоге получится куб, изображенный на рис. 17.1, шесть граней которого олицетворяют шесть миропониманий (мировоззрений): три естественнонаучные (теоретико-полевое, геометрическое и реляционное) и три философско-религиозные.

В итоге оказались соотнесенными миропонимания: теоретико-полевое и религиозное, геометрическое и идеалистическое, реляционное и материалистическое.

5. Согласно принципу фрактальности, идеальное и духовное начала должны опираться на свои собственные подкатегории, соотносимые с тремя философско-религиозными началами. Для них можно нарисовать свои кубы и определить тройки *мироприятий*, которые будут соответствовать, с одной стороны, материалистическому, идеалистическому и религиозному мировоззрениям, а с другой стороны, — трем естественнонаучным миропониманиям: теоретико-полевому, геометрическому и реляционному, что позволяет сделать ряд любопытных выводов.

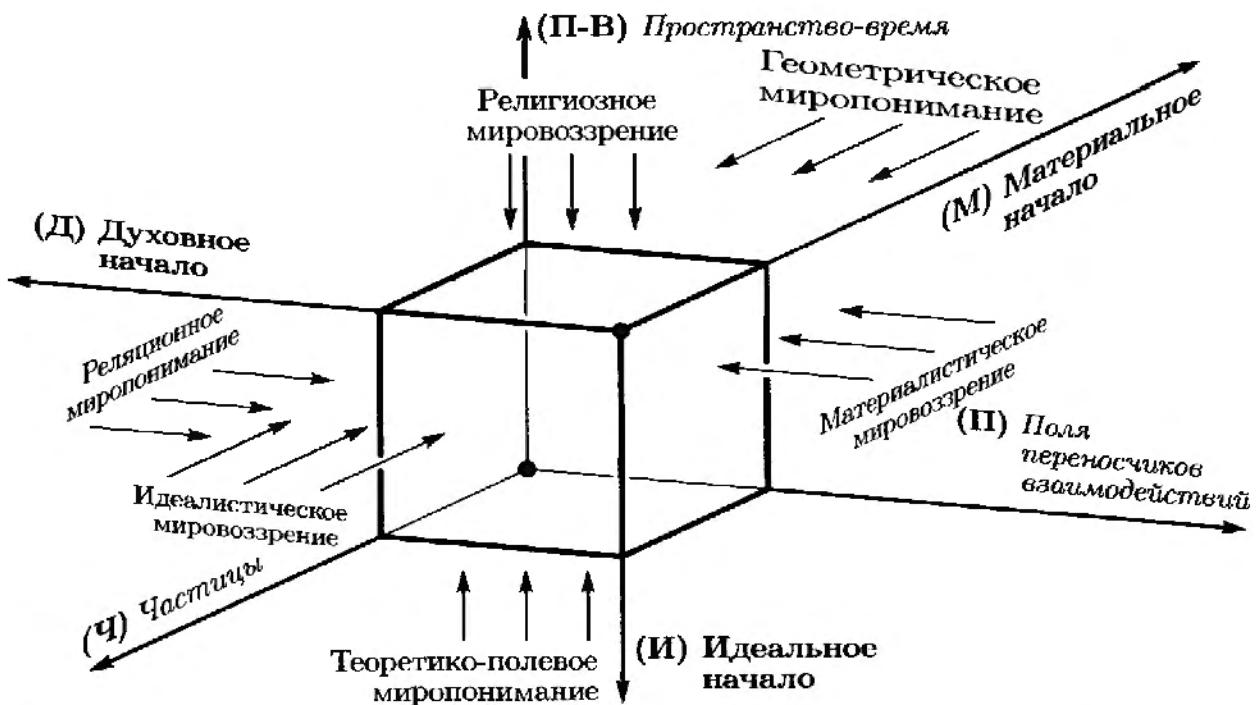


Рис. 17.2. Философско-религиозные начала и шесть миропониманий (мировоззрений)

Рассмотрим некоторые следствия из сопоставления названных мировоззрений с соответствующими им естественнонаучными миропониманиями.

17.4. Теоретико-полевое миропонимание и религиозное мировоззрение

1. Мировоззрение, основанное на духовном и материальном началах, названо религиозным потому, что, согласно христианскому учению, человеку даны две книги: Священное писание (духовное начало) и книга природы (материальное начало). Аналогичным образом обстоит дело и в таких классических религиях, как иудаизм и ислам, где доминирующим является духовное начало, а материальный мир понимается «тварным», сотворенным Богом. Без второго (материального) начала религиозные системы не смогли бы выполнить своего предназначения.

2. Если обобщенные категории теоретико-полевого миропонимания и религиозного мировоззрения могут быть соотнесены друг с другом (см. рис. 17.3), то ситуация с оставшейся категорией (началом) в двух сопоставляемых учениях принципиально различна. Как уже неоднократно подчеркивалось, теоретико-полевой подход немыслим без постулирования категории классического пространства-времени, только на фоне которого может быть определено поле амплитуды вероятности.

В религиозном же мировоззрении отношение к идеальному (рациональному) началу составило серьезную проблему, которая остается

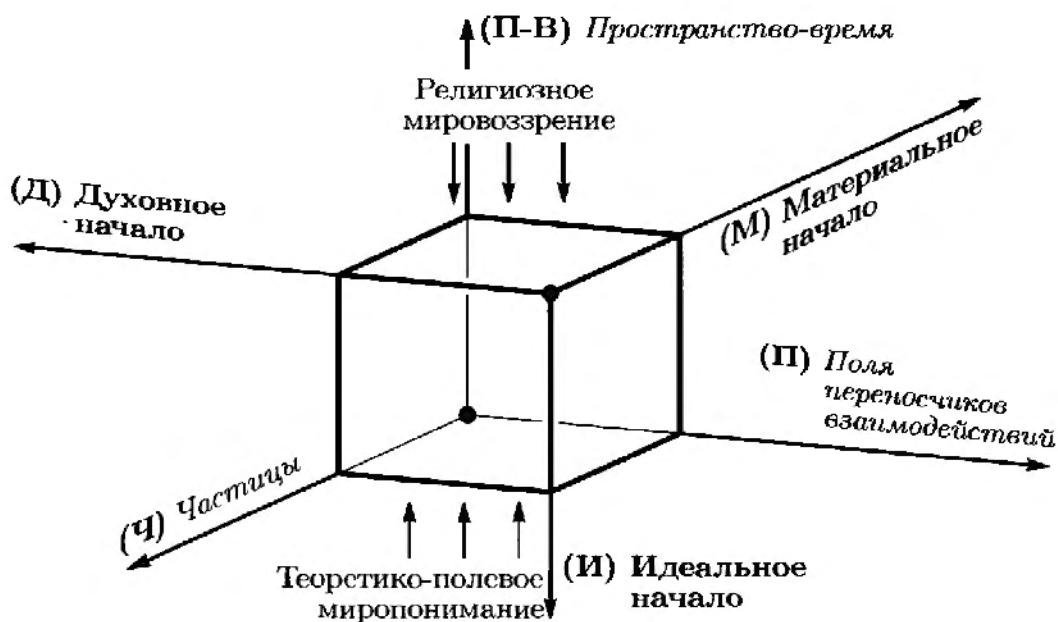


Рис. 17.3. Религиозное и теоретико-полевое миропонимания

до конца не преодоленной и по сей день. И одна из причин этого заключается в ее возведении в ранг альтернативы: или вера, или разум. Так, Г. Лейбниц писал: «Распутать этот столь трудный узел и одинаково справедливо воздать и благочестию, и разуму должно представляться одним из величайших стремлений человеческой жизни. Ибо стремление заставить людей погасить для себя свет разумения под предлогом веры или вырвать себе глаза, чтобы лучше видеть, ведет прямо к тому, что и самые одаренные мужи вскоре становятся или откровенными нечестивцами, или, во всяком случае, лицемерами, какими, мне думается, были когда-то аверроисты, отстаивавшие двойственность истины» [97, с. 176].

Как пишет В. Н. Катасонов, «по Лейбничу, согласие веры и разума следует устанавливать *положительно*, т. е. сама наука должна свидетельствовать об истинности положений веры (хотя и не в полном объеме). Лейбниц всегда указывал, что наука невозможна без некоторых метафизических положений, которые уже приводят к истинам веры» [81, с. 148].

Об истории этого вопроса пишет В. Д. Захаров: «Выдающиеся мыслители уже с первых веков христианства понимали задачу апологии (перевода истин Откровения на язык разума и примирения веры с положительным знанием) и стремились разрешить ее философскими средствами. Климент Александрийский (150–215) назвал греческую натурфилософию подлинным «детоводителем» ко Христу. Ориген (185–235), создатель системы христианского вероучения, а затем Иоанн Скот (IX в.) решительно выступили за необходимость подтверждения веры разумом. Они считали, что разум и Откровение, как два источника

истины, не могут противоречить друг другу. Однако Церковь, анафематствовавшая и Оригена (553), и Иоанна Скота (855), видимо, не хотела допустить, чтобы философская, нецерковная мысль дерзала вообще разрабатывать богословие. Уже первые опыты научной апологии были приняты Церковью с решительной враждебностью. Она не пожелала принимать никакой апологии, кроме своей собственной. Возникшее в Новое время новое естествознание само развивалось уже в борьбе с церковным авторитетом» [65].

3. Признание второй категории в религиозном мировоззрении проходило трудно. Идеальное начало (разум) и обобщенное духовное начало получают независимый, самостоятельный статус лишь начиная с XIII в., причем в своеобразной форме. К этому времени католическое богословие стало признавать за «естественным разумом» право автономного от веры познания мира. Так родилась идея «двойственной» истины. Признание самостоятельности двух начал сыграло огромную роль в развитии философской мысли. Как писал протоиерей Василий Зеньковский: «Учение о самодостаточности «естественного разума» в познании мира и человека есть, в сущности, новое, чуждое основным течениям даже античной мысли понятие: возвышая Откровение над «естественным разумом», Аквинат в то же время *рассекает* единую целостность познавательного процесса. Она была таковой у греков, т. е., конечно, у самых значительных мыслителей Греции; она была таковой и у христианских богословов ранних и поздних — до XIII в. Аквинат же своим решением вышел уже на новый путь и тем надолго разрешил для Запада трудную тему о соотношении внерелигиозного знания и веры. (...) Это открыло новый путь для чисто философского творчества, которое не просто стало обходитьсь в дальнейшем без религиозного обоснования («верхнего этажа»), но постепенно вышло на путь полной автономии, возводимой отныне в принцип» [69].

4. Длительный конфликт между наукой и религией стал преодолеваться в XX в. главным образом в связи с созданием квантовой механики, т. е. в связи с формированием теоретико-полевой парадигмы. Открытие закономерностей квантовой теории ознаменовало замену в физике триалистической парадигмы на дуалистическую парадигму теоретико-полевого миропонимания, которое стало приближаться к позиции Церкви. В этом смысле можно утверждать, что *магистральное направление физики XX в. оказалось близким к религиозному мировоззрению*, открывая путь для сближения науки и религии на качественно новой основе.

Это отмечалось и классиками теоретической физики, например В. Гейзенберг приводит следующие слова В. Паули: «Развитие естествознания в последние два столетия, несомненно, изменило человеческое мышление в целом и вывело его из круга представлений христианской

культуры. Поэтому не так уж маловажно то, что думают физики. Ведь именно узость этого идеала, — идеала объективного мира, существующего в пространстве и времени по закону причинности, — вызвала конфликт с духовными формами различных религий. И если само естествознание ломает эти узкие рамки — как оно это сделало в теории относительности и в еще большей мере способно сделать в квантовой теории, о которой мы теперь с таким жаром спорим, — то соотношение между естествознанием и тем содержанием, которое хотят охватить своими духовными формами религии, начинает выглядеть опять-таки иначе. (...) В будущем, думая о порядке мироздания, нам следовало бы придерживаться середины, как она очерчена, например, в принципе дополнительности Бора. Наука, построенная на таком образе мысли, будет не только терпимее к различным формам религии, но сможет, пожалуй, полнее рассматривая целое, обогатить и мир ценностей» [43, с. 210].

5. Как нам представляется, слова Паули о выводе естествознанием человеческого мышления «из круга христианской культуры» нужно понимать в смысле распространения в прошлом механистических представлений на все мироздание. В результате достижений в физике XVII в., главным образом в трудах Ньютона, в естествознании господствующей стала триалистическая парадигма, согласно которой все объекты (частицы) характеризуются точными положениями и скоростями в классическом пространстве-времени, а взаимодействия между ними подчиняются принципу «естественной» причинности, как ее назвал И. Кант. В таком мире господствует абсолютный детерминизм и, задав положения и координаты всех тел в мире, можно сколь угодно точно предсказать состояние мира в любой момент времени. В итоге Лейбницием был сделан вывод, что роль Бога состояла лишь в создании мира с конкретными начальными условиями, а дальше уже он развивался по известным физическим (читай, механическим) законам без участия Бога. На рубеже XVIII и XIX вв. Лаплас заявил, что в его системе мира Бог является «лишней аксиомой».

Однако, как писал Кант, в природе, кроме естественной причинности, изучаемой механикой (естествознанием), имеется еще другая причинность, названная им «свободной», с которой имеет дело религиозное мировоззрение. Для «свободной» причинности характерна неоднозначность (возможность нескольких исходов), которая в религии связывается с Божьей волей.

Открытие квантовой механики привело к отказу от абсолютного механистического детерминизма и заставило положить в основу физического мироздания вероятностные закономерности. Таким образом, сама физика XX в. устранила главную причину конфликта между наукой и религией, заменив «естественную» причинность классической механики на «свободную» причинность квантовой механики, где невозможно

однозначно предсказать поведение электрона в атоме, что дало повод говорить о невероятной прежде «свободе воли электрона». «Физика XX в., — как справедливо отмечает В. Д. Захаров, рассматривая проблему отношений между наукой и религией с позиций двух причинностей, — сама преодолела барьер, воздвигнутый между ними классической физикой, и указала на возможный путь их синтеза — построения единой картины мира на основе соединения физического и религиозного миропониманий. Оба эти миропонимания можно рассматривать как две взаимопротивоположные истины, но не противоречащие одна другой, а дополняющие друг друга» [64].

В итоге обобщенная категория поля амплитуды вероятности оказалась созвучной обобщенному началу религиозного миропонимания. Теперь стало правомерным утверждение, что Господь Бог может воздействовать на явления через квантовомеханическую вероятность, не нарушая законов физики. В связи с этим вспомним слова Эйнштейна, сказанные по поводу вероятностной интерпретации квантовой механики, что он «не может себе представить Бога, играющего в кости».

Завершая данный раздел, хотелось бы также обратить внимание на следующие обстоятельства.

- А. Поскольку наука развивалась в европейском (христианском) регионе, представляется примечательным тот факт, что доминировавшее в XX в. теоретико-полевое миропонимание оказалось ближе всего именно к религиозному мировоззрению. Интересно также отметить, что современные космологические представления о «большом взрыве» представляют собой не что иное, как христианский сюжет творения мира «из ничего».
- Б. Отмеченное здесь сближение позиций религии и науки составляет лишь один из промежуточных шагов навстречу друг другу. Действительно, следуя догмату Святой Троицы, можно утверждать, что христианское богословие опирается на монистическую (моно-теистическую) парадигму. Что касается современных физических программ, то они также нацелены на построение теории монистической естественнонаучной парадигмы. Следовательно, создается еще более глубокая, — метафизическая, — основа для сближения физической и религиозной картин мира.

17.5. Геометрическое миропонимание и идеалистическое мировоззрение

1. Идеалистическое мировоззрение возникло на основе выделения двух (разделенных или объединенных в одно обобщенное) начал: идеального (rationaльного) и духовного. Оно сформировалось в процессе

противостояния, с одной стороны, философско-религиозных учений античности, ставивших во главу угла идеальное начало, и, с другой стороны, христианства, где доминирующим было духовное начало.

Идеалистическое мировоззрение может быть соотнесено с геометрическим миропониманием в естествознании. (На рис. 17.2 и 17.4 им соответствуют противоположные — задняя и передняя — грани куба.)

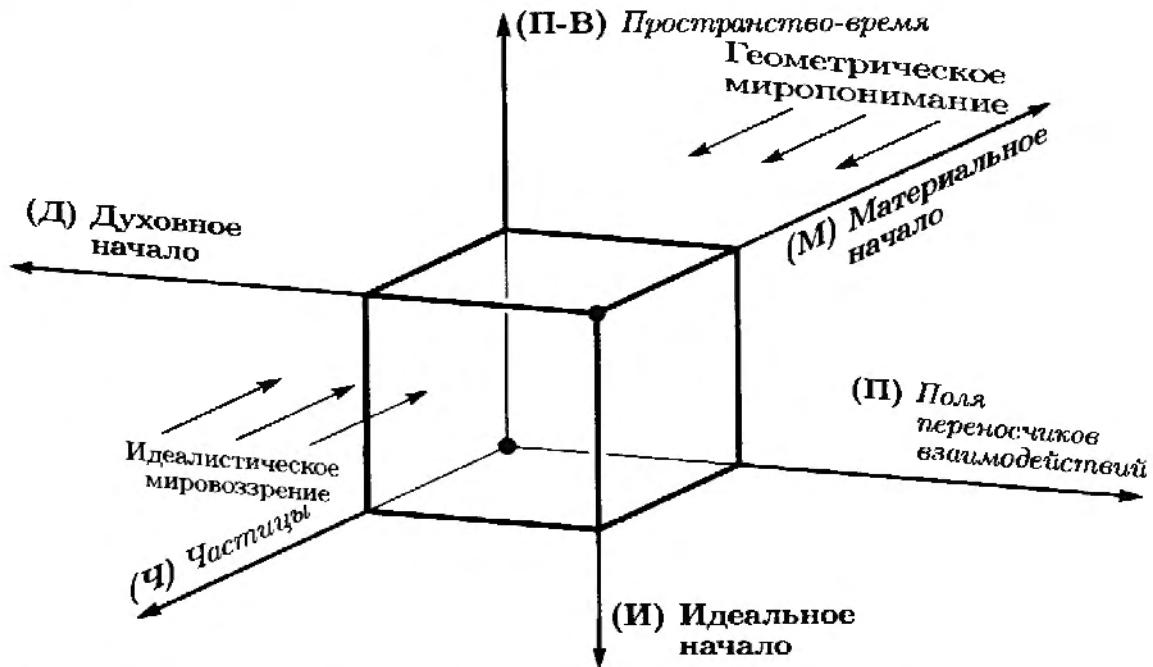


Рис. 17.4. Идеалистическое и геометрическое миропонимания

2. В рамках идеалистического мировоззрения, опирающегося на обобщенное начало из идеалистического и духовного начал, следует различать дуалистическую и квазимонистическую парадигму. Они различаются отношением к оставшемуся (третьему) началу. В квазимонистическом подходе оно отсутствует, как и в религиозном мировоззрении. Философские системы такого рода следует уподобить геометрическому миропониманию в рамках экстремальной клиффордовской парадигмы, где провозглашена программа вывода всей физики из геометрии. Как было отмечено в 3-й части книги, эта программа в физике так и не была реализована.

3. К дуалистическим идеалистическим системам следует отнести такие, которые опираются на названное выше обобщенное начало и на оставшееся материальное начало. Они соответствуют в естествознании дуалистической геометрической парадигме, к которой принадлежат общая теория относительности и многомерные геометрические модели физических взаимодействий типа теорий Калуцы и Клейна.

Рассмотрение данного вопроса выявило следующий любопытный факт: в деятельности отдельных естествоиспытателей, особенно

в XVII—XVIII вв., отмечаются случаи расхождения естественнонаучной и философско-религиозной парадигм.

К дуалистической идеалистической парадигме, опирающейся на обобщенную категорию идеального и духовного начал и на самостоятельно выступающее материальное начало, следует отнести философско-религиозные взгляды И. Ньютона. Как пишет П. П. Гайденко, «абсолютное пространство Ньютона наделяет особым свойством активности, называя его «чувствилищем Бога» (*Sensorium Dei*). (...) «Чувствилищем Бога» называет абсолютное пространство и С. Кларк в переписке с Лейбницием, защищая здесь точку зрения, общую у него с Ньютоном. (...) Правда, Ньютон не согласен считать пространство мировой душой, поскольку это понятие трудно совместимо с христианством, но идея общей одушевленности мира ему не чужда. (...) Понятия пространства, эфира, «мирового дыхания» или «мировых духов» ассоциировались у некоторых возрожденческих натурфилософов с мировой душой неоплатоников, которая мыслилась как тончайшая материя или, как мы видели у Г. Мора, И. Ньютона и С. Кларка, — как пространство. При этом последнее рассматривается как *одушевленное пространство* у ряда представителей герметизма; у Ньютона и Кларка, желавших оставаться в пределах христианской теологии, оно получает название „божественного чувствилища“» [41, с. 81].

Эйнштейн обращал внимание на созвучие философско-религиозные взглядов Ньютона с парадигмой общей теории относительности в геометрическом видении мира. Как уже отмечалось, Эйнштейн рассматривал свою теорию как промежуточную на пути к экстремально геометрической теории клиффордовского типа.

4. Исходя из изложенного, следует признать, что идеологи диалектического материализма были правы, причисляя эйнштейновскую общую теорию относительности и многомерные геометрические модели типа теории Калуцы и Клейна к идеалистическим учениям. Однако это являлось не недостатком теории, а лишь свидетельством наличия иного взгляда на одну и ту же реальность.

17.6. Реляционное миропонимание и материалистическое мировоззрение

1. Мировоззрение, основанное на выделении двух начал: материального и идеального (рационального), названо материалистическим по некоторым причинам. Во-первых, традиционно (во всяком случае у нас в стране) материалистическая философия рассматривалась как наука, т. е. как рациональное учение. Во-вторых, в диалектическом материализме, провозгласившем первичность материи, тем не менее

вводилась еще *форма существования материи*, которая фактически выполняла роль идеального (второго) начала в этом учении. В-третьих, материализм в советский период был назван диалектическим, что подразумевает наличие второго начала. И наконец, диалектический материализм противопоставлялся идеализму, следовательно, идеальное начало правомерно полагать вторым в этом учении.

Подчеркнем, что данное здесь определение материалистического мировоззрения отличается от известного определения материализма классиками марксизма-ленинизма. Как уже отмечалось, материалистическое мировоззрение соответствует естественнонаучному реляционному миропониманию, что схематически изображено на рис. 17.2 и 17.5 параллельными левой и правой гранями куба.

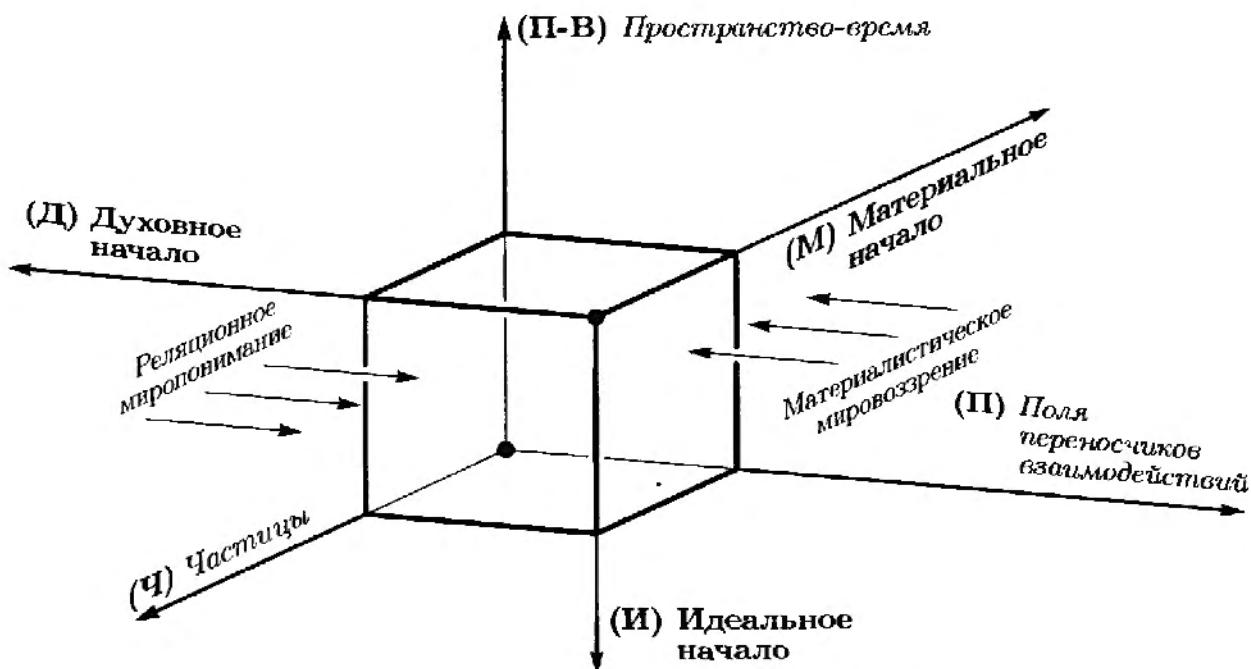


Рис. 17.5. Материалистическое и реляционное миропонимания

Как и в предыдущих случаях, в материалистическом мировоззрении следует различать дуалистическую и квазимонистическую парадигмы, основанные на разном отношении к оставшемуся третьему началу.

2. Дуалистическая материалистическая парадигма опирается на обобщенное начало, содержащее в себе материальное и идеальное начало, и на оставшееся (самостоятельное) духовное начало. Данная парадигма характерна для философско-религиозных взглядов Галилея и Декарта: оба признавали, наряду с Богом и связанным с ним духовным началом, материальное начало, объединяя его с идеальным. Как отмечает П. П. Гайденко, «У Декарта мир природы превращается в бесконечно простирающееся математическое тело. Сила, активность, деятельность вынесены за пределы природного мира; их источник —

трансцендентный Бог. С помощью закона инерции Декарт связывает движение с протяжением, устранив из природы — с помощью догмата о творении — всякое представление о конечных причинах» [41, с. 68]. «Сила, благодаря которой тело продолжает пребывать в состоянии, в котором оно находится, является позитивной волей Бога», — пишет французский физик Ж. Рю, последователь Декарта (цит. по [41, с. 70]). Как это ни покажется парадоксальным, но, согласно приведенным выше определениям, данная парадигма должна быть отнесена к материалистической.

Подобные дуалистические философские учения соответствуют теории прямого межчастичного взаимодействия Фейнмана—Фоккера, опирающейся на обобщенные категории пространственно-временных и токовых отношений. При этом «сила, активность, вынесенные за пределы природного мира», должны быть сопоставлены с токовыми отношениями в концепции дальнодействия.

3. К квазимонистической материалистической парадигме следует отнести философские взгляды Э. Маха и, в значительной степени, позитивизм, которые фактически основывались на объединении материального и идеального начал. Позиция Маха подробно изложена в его книге «Познание и заблуждение». Здесь следует подчеркнуть, что термин «ощущение» использовался Махом для обозначения психологической реакции человека на окружающие его материальные объекты, например, солнце, и другие воспринимаемые тела. Он писал: «Наш опыт развивается через идущее вперед приспособление наших мыслей к фактам действительности. Через приспособление наших мыслей друг к другу возникает упорядоченная, упрощенная и свободная от противоречий система идей, к которой мы стремимся как к *идеалу науки*» [105, с. 52]. Думается, что Ленин, критикуя Маха за его, якобы, субъективный идеализм, не понял сути его позиции.

Философско-религиозные взгляды Маха вполне соответствовали его естественнонаучным позициям. Он резко выступал против использования в физике идеальных понятий, не имеющих достаточного обоснования в наблюдениях (в ощущениях). В частности, к таковым он относил понятия пространства и времени и настаивал на их сугубо реляционной сущности. Вместо тел и пространства (-времени) у него фактически вводилась обобщенная категория *отношений*: отношений между телами, отношений человека и окружающих тел и т. д. Напомним, что понятие отношения теряет всякий смысл без тел, о которых бессмыленно говорить без отношений между ними. По Маху, тела проявляются только в отношениях. За его философско-религиозными взглядами также просматривается обобщенное начало, включающее в себя как материальное начало (тела), так и идеальное начало.

Для квазимонистической философии такого типа характерно игнорирование третьего, духовного начала. Известно прохладное отношение Э. Маха к религии: в его биографии можно найти немало тому подтверждений. Он относил волю ко вторичным понятиям: «Не существует *воли и внимания* как *особых* психических сил. Та же сила, которая образует тело, производит и те особые формы согласного действия частей тела, которые мы называем в совокупности «*волею*» и «*вниманием*». Воля и внимание так родственны между собой, что трудно разграничить их друг от друга. Воля и внимание заключают в себе элемент «выбора», как геотропизм и гелиотропизм растений или явление падения камня на землю. Все они в равной мере загадочны или в равной мере понятны. Воля состоит в подчинении менее важных или только временно важных рефлексивных актов жизненной функции руководящих процессов. А эти руководящие процессы суть ощущения и представления, *регистрирующие условия жизни*» [105, с. 90].

Формально эти рассуждения соответствуют исключению в теории Фоккера—Фейнмана физической категории полей переносчиков взаимодействий. В физической теории ее функции брала на себя другая обобщенная категория, однако в философской трактовке это оказывалось завуалированным.

4. Другим примером квазимонистического материализма явился диалектический материализм, претендовавший на монистический статус учения. Это учение опиралось на единую обобщенную категорию материи. В марксистско-ленинской философии можно встретить категорическое возражение против какой-либо конкретизации материи, например, в виде: «материя есть все то, что обладает свойствами P_1, P_2, \dots, P_n , где n может быть велико, но обязательно конечно» [172, с. 25]. Отвергается точка зрения, что раскрытие этих P_1, P_2, \dots, P_n может явиться задачей естествознания. Материя — это все, что есть, что открыто и что когда-либо будет открыто с любыми свойствами. Столь апофатическая трактовка материи настолько всеобъемлюща, что становится практически бесполезной.

Общеизвестно резко враждебное отношение идеологов диалектического материализма к религии.

5. Имея в виду отмеченное соответствие материалистической философии (в данной здесь трактовке) реляционному миропониманию в физике, высажем несколько конкретных критических замечаний по поводу (марксистско-ленинского) диалектического материализма.

- 1) Всехватывающее материальное начало было настолько общим, что оказалось совершенно бесплодным для физики. В одну категорию материи попали и частицы, и поля. Более того, соответствующими диалектическому материализму оказывались понятия эфира, теп-

лорода, флогистона и прочих идеальных субстанций, — достаточно было лишь признать их материальный характер.

- 2) Несмотря на соответствие материализма и реляционного миропонимания, господствовавшая в нашей стране идеология диалектического материализма противилась признанию концепции дальнодействия. Выше были охарактеризованы диспуты начала 30-х гг. по вопросу концепций близкодействия и дальнодействия. Концепция близкодействия отстаивалась В. Ф. Миткевичем, а концепция дальнодействия, соответствующая реляционному подходу, звучала Я. И. Френкелем. Идеологи диалектического материализма решительно встали на сторону В. Ф. Миткевича. Так, редакция журнала «Под знаменем марксизма» следующим образом определила идеологическую сущность данной дискуссии: «Редколлегия подчеркивает, что неустаненная защита академиком В. Ф. Миткевичем положения об объективности физических процессов происходящих в электромагнитном поле, является борьбой за основы научного материалистического понимания природных явлений. Редакция считает, что критикующие взгляды академика В. Ф. Миткевича профессора Я. Н. Шпильрейн, Я. И. Френкель, И. Е. Тамм и некоторые другие или не дают прямого и ясного ответа на поставленный им вопрос, или дают идеалистический ответ, отрицая объективность физических процессов в поле» (цит. по [156, с. 285]).

Как пишет А. С. Сонин по поводу данной дискуссии, «в спор вмешался академик Н. И. Бухарин. Он заметил, что Френкель не относит электромагнитное поле к материи. Тогда он задал вопрос: является ли электромагнитное поле третьей категорией после материи и духа? Второй вопрос — является ли „пространство атрибутом и чего-то (скажем, материи) или самостоятельной субстанцией?“» [156, с. 287].

- 3) С точки зрения диалектического материализма оказался несущественным выбор одной из концепций пространства-времени: реляционной или субстанциальной. Ранее уже цитировался учебник по философии, где утверждалось: «Субстанциальная и реляционная концепции не связаны однозначно с материализмом и идеализмом. Здесь возможны любые сочетания» [172, с. 139]. Напомним, Мах в своих трудах настаивал именно на реляционной природе пространства и времени.
- 4) Для идеологов диалектического материализма был характерен догматический подход к ряду проблем естествознания. Например, следуя высказываниям В. И. Ленина начала XX в., утверждалось, что пространство как форма существования материи может быть только 3-мерным. Этот догмат послужил основанием для насмешек по

повору высказываний Э. Маха о возможности многомерных пространств.

Список претензий к идеологам диалектического материализма может быть существенно продолжен.

6. Рассмотренное в этой главе соответствие между тремя физическими миропониманиями и философско-религиозными мировоззрениями показывает, что *материалистическое мировоззрение не соответствует ни магистральному пути развития физики XX в. в рамках теоретико-полевого миропонимания, ни парадигме общей теории относительности*. Это и послужило причиной длительного непризнания идеологами марксизма-ленинизма ни квантовой механики, ни общей теории относительности.

После вынужденного признания в нашей стране достижений современной физики попытки отечественных физиков следовать доктам марксистско-ленинского учения приводили к лишним надуманным проблемам. Вспомним ранее приведенную философскую дискуссию А. З. Петрова, М. Ф. Широкова и Д. Д. Иваненко о сущности гравитации.

7. Тем не менее не следует отказываться от материализма в его расширенном понимании, «не выплескивать вместе с водой и ребенка», а существенно его переработать с учетом достижений современного естествознания (физики). С признанием права на существование иных мировоззрений, материалистический взгляд на мир теряет свой агрессивный характер, противостоящий как идеалистическому, так и религиозному мировоззрениям. При такой постановке вопроса достижения, выработанные человечеством в течение многих веков в рамках разных мировоззрений, становятся дополняющими друг друга и в совокупности дают более полное представление о мире.

8. Особо следует отметить тот факт, что реляционное миропонимание, соответствующее материалистической философии, оказывается наиболее подходящим для перехода к искомой монистической парадигме в виде бинарной геометрофизики (или предгеометрии), изложенной в предыдущей части книги. Это обстоятельство заставляет более внимательно отнестись к материализму.

17.7. Философия триединства

1. Ставший актуальным на рубеже ХХ и ХХI вв. поиск единой физической теории в рамках монистической (триединой) парадигмы созвучен позиции столетней давности, выраженной в трудах российских философов «серебряного века». Подробно процитируем высказывание В. С. Соловьева (1853–1900), который в своей книге «Критика отвлеченных начал» писал: «В основе истинного знания лежит мистиче-

ское, или религиозное, восприятие, от которого только наше логическое мышление получает свою безусловную разумность, а наш опыт — знание безусловной реальности. Будучи непосредственным предметом знания мистического, истина (всеединое сущее) становится предметом знания естественного, т. е. будучи сознательно усвоема человеческим разумом и человеческими чувствами, она вводится в формы логического мышления и реализуется в данных опыта. Этим образуется система истинного знания вещей божественных, которого она посредством рационального мышления связывает с эмпирическим познанием вещей природных, представляя таким образом всесторонний синтез теологии, рациональной философии и положительной науки.

Этот великий синтез не есть чья-нибудь субъективная, личная потребность: недостаточность эмпирической науки и бесплодность отвлеченной философии, с одной стороны, а с другой стороны, невозможность возвратиться к теологической системе в ее прежней исключительности, необходимость развить и восполнить мистическое начало элементами рациональными и природными — реализовать его как всеединое — все это ясно осознано умом человечества как результат отрицательного развития. Самое это развитие отвлеченных начал, совершенное западным человечеством, содержит в себе живую и реальную картину этих начал, их суд и осуждение; так, отвлеченный клерикализм уничтожен своим собственным последовательным развитием в папстве; отвлеченная философия осуждена гегельянством, а отвлеченная наука подрывается современным позитивизмом; так что наша критика только выражает в общих формулах тот неизбежный вывод, к которому приводит реальный исторический процесс, пережитый умом человечества; этот вывод есть положительное всеединство» [155, с. 590].

2. Идеи философии триединства оказались преждевременными для физиков на рубеже XIX и XX вв., поскольку в науке всецело господствовала ньютонаева триалистическая парадигма. Дуалистическое геометрическое миропонимание стало складываться лишь после осмыслиения уравнений Эйнштейна, записанных в 1915 г. Дуалистическое теоретико-полевое миропонимание формировалось в 20-х гг.. В течение всего XX в. обсуждалось соотношение этих двух миропониманий. А третье, — реляционное, — миропонимание, хотя и было основано в середине XIX в., но в XX в. оказалось на обочине магистрального развития физики.

В физике и вообще в развитии культуры довольно часто высказываются идеи, оказывающиеся преждевременными и невостребованными в момент их появления. Так было и с концепцией дальнодействия, модной в немецкой физической школе XIX в., так было и с первыми работами по 5-мерным геометрическим моделям физических взаимодействий. Однако в данной ситуации все было осложнено еще факторами социального характера.

Как нам представляется, только сейчас идеи философов «серебряного века» о триединстве стали по настоящему актуальными в теоретической физике, когда фундаментальная теоретическая физика вплотную подошла к построению единой теории, совмещающей в себе достижения и принципы трех естественнонаучных миропониманий.

3. Следует отметить, что в работах по философии триединства речь идет о философской системе, совмещающей в себе три классические начала как таковые, тогда как при разработке дуалистических физических миропониманий было продемонстрировано, что переход к новой обобщенной категории сопровождается тем, что новая категория уже не является простой суммой обобщаемых первичных категорий, а качественно от них отличается. Так было с категорией поля амплитуды вероятности, которая не является ни волной, ни корпускулой. То же можно сказать про категории парных отношений в реляционном подходе или о категории искривленного пространства-времени в геометрическом миропонимании. Это побуждает искать аналогии подобных качественных изменений начал в философско-религиозных учениях.

Метафизика и религия

В книге Норberta Винера «Творец и робот» наше внимание привлекло следующее рассуждение: «Несотъемлемой чертой ученого, равно как умного, честного писателя, как и умного представителя духовенства, должно быть стремление подвергнуть экспериментальной проверке еретические или запретные мнения, даже если в конечном итоге их придется опровергнуть... Это ответственное дело, и браться за него следует со всей серьезностью. Оно приобретает смысл только тогда, когда связано с реальным риском впасть в ересь; и если эта ересь влечет за собой риск духовного проклятия, то на этот риск нужно идти честно и смело! Говоря словами кальвиниста: „Готов ли ты быть проклятым ради вящей славы Господа?“» [24, с. 19].

Высказывание Н. Винера, открывавшее главу, приведено не случайно. Задача, которую здесь ставит перед собой автор, представляется ему достаточно рискованной, поскольку проведение любых аналогий между наукой и религией, действитель но, требует большой ответственности. Сформулируем основное положение, на обоснование которого направлено дальнейшее изложение материала: единая обобщенная категория бинарной системы комплексных отношений (БСКО), из которой предлагается выводить (обосновать) весь комплекс понятий и закономерностей физики, является физическим аналогом Бога¹⁾ или отражением Бога в материальном мире. Поэтому бинарная геометрофизика открывает новые возможности для сближения фундаментальной физической науки, религии и духовной культуры в целом.

Предвидя возражения коллег, считающих, что религия и наука не совместимы, подчеркнем следующее: не только доминирующие иные теоретико-полевые представления созвучны религиозным представлениям, но и главные доктрины христианского учения, такие как доктрина

¹⁾Отметим, что риск навлечь критику с двух сторон состоит уже в проведении аналогии между понятиями в физике и религии. Термин аналогия подразумевает редукционизм в виде разделения на науку и религию. Еще больший риск заключен в холицистическом подходе...

Святой Троицы, соответствуют метафизическим свойствам искомого в физике Первоначала.

Многие полагают, что современная теоретическая физика вполне может обойтись без религии. Если под теоретической физикой понимать только решения уже сформулированных уравнений и их приложения, то это так, а если стремиться шагнуть в неведомое, искать Первоначало всего мироздания, то вольно или невольно физик вторгается в сферу религии.

Классические религиозные системы представляют собой собранную человечеством на протяжении многих веков (и даже тысячелетий) сокровищницу понятий, идей и принципов, которые вольно или невольно используются в фундаментальной теоретической физике. Например, описывая частицу в квантовой механике, мы говорим, что она уже не является ни корпускулой, ни волной, но чем-то третьим, для чего у нас нет наглядного образа. Однако в квантовой механике разработана методика обращения с квантовыми понятиями. В этом легко просматриваются как апофатический, так и катафатический подходы к описанию Бога. Апофатика говорит о том, чем не является объект (что не поддается определению в известных понятиях), тогда как катафатика содержит положительную информацию о Первоначале (объекте).

18.1. Естествоиспытатели и физики-теоретики о соотношении науки и религии

Значительное время в нашей стране труды ученых тщательно очищались от высказываний на религиозную тему, причем это делалось не только цензурой, но и самими учеными, поскольку для отстаивания в стране достижений мировой науки необходимо было доказывать «материалистические позиции» виднейших зарубежных ученых и даже «стихийный материализм» мыслителей прошлого. Постараемся хотя бы частично заполнить образовавшийся пробел и приведем высказывания о религии виднейших авторитетов как прошлых веков, так и физиков-теоретиков XX в.

В далекие времена наука и религия были практически неразрывны. И. Ньюton, И. Кеплер, Р. Декарт, Г. Лейбниц и многие другие ученые средневековья верили в Бога. Так, в работе Г. Лейбница «Свидетельство природы против атеистов» можно прочитать: «Человек божественного ума Френсис Бэкон Веруламский справедливо заметил, что философия, если отведать ее слегка, уводит от Бога, если же глубоко зажерпнуть ее — приводит к нему. Это мы видим в нынешний век, столь же обильный знанием, как и нечестием» [97, с. 78].

Вполне сочеталась вера в Бога как в Источник всего сущего с научной деятельностью у основателя Московского университета М. В. Ломоносова. Достаточно вспомнить его «Утреннее» и «Вечернее размышление о Божием Величестве» [101]:

«Творец! Покрытому мне тьмою
Прости премудрости лучи
И что угодно пред Тобою
Всегда творити науки
И, на Твою взирая тварь,
Хвалить тебя, бессмертный Царь».

Многочисленные свидетельства положительного отношения к религии виднейших физиков и естествоиспытателях XIX в., — лорда Кельвина, Дж. Рэлея, Дж. Стокса, М. Фарадея, В. Рамзая и многих других — можно найти в книге А. Г. Табрума «Религиозные верования современных ученых» [162]. В частности, там приводятся выдержки из письма Кельвина, где он пишет: «Я не нахожу, чтобы выдающиеся ученые были иррелигиозны, хотя, конечно, многие из них ощущают большие затруднения в этом отношении; но я боюсь, что некоторые из более легкомысленных молодых людей, занятых научными изысканиями, не смущаются никакими затруднениями, и вот их-то не без основания можно назвать иррелигиозными» [162, с. 10].

Перейдем к взглядам ученых, работавших в XX в. Герман Вейль, открывший первую нериманову геометрию и создавший один из первых вариантов единой геометрической теории гравитации и электромагнетизма, изложил свои взгляды на соотношение математики и религии в своей книге «Открытый мир», первая глава которой называется «Бог и Вселенная». Вейль считал, что «мир не есть хаос, он есть космос, гармонически упорядоченный посредством нерушимых законов математики», а источником математической гармонии мира является Бог. По его мнению, наука — особенно математика — открывает для мыслящего человека путь к Богу, так как она дает «видение той безупречной гармонии, которая согласуется с возвышенной причиной».

Примечательна позиция в отношении религии одного из создателей квантовой механики Макса Планка, три поколения предков которого были, как известно, теологами. В его высказываниях о религии, а на эту тему к концу жизни он высказывался все чаще, сочеталось признание того, «что внешний мир представляет собой нечто не зависимое от нас, абсолютное, чему противостоим мы», с убеждением о необходимости религии. При этом он придерживался редукционистского тезиса: «Естествознание нужно человеку для знания, религия нужна ему для действия» [133, с. 262]. Так, он писал: «Но не следует думать, что можно продвинуться вперед без всякого миросозерцания, т. е. без недоказуемых

гипотез. Для физики также имеет силу изречение, что нет спасения без веры, по крайней мере без веры в некоторую реальность. Только эта твердая вера и указывает путь творческому стремлению, только она дает точку опоры продвигающейся ощупью фантазии, только она в состоянии всякий раз ободрить мысль, уставшую от неудач, и снова воодушевить ее. Исследователь, который не руководится в своих работах какой-либо гипотезой, хотя бы осторожной и предварительной, тем самым заранее отказывается от более глубокого понимания своих собственных результатов» [133, с. 82].

Среди физиков широко распространено понятие «эйнштейновского Бога». Вот как сам А. Эйнштейн характеризовал свои взгляды о Боге и религии¹⁾: «Моя религия состоит в чувстве скромного восхищения перед безграничной разумностью, проявляющей себя в мельчайших деталях этой картины мира, которую мы способны лишь частично охватить и познать нашим умом... Эта глубокая эмоциональная уверенность в высшей логической стройности устройства вселенной... и есть моя идея Бога...» Или другое его высказывание: «Знать, что на свете есть вещи, непосредственно недоступные для нас, но которые реально существуют, которые познаются нами и скрывают в себе высшую мудрость и высшую красоту... знать и чувствовать это — есть источник истинной религиозности. В этом смысле, и только в этом смысле, я принадлежу к религиозным людям».

Свое понимание религии Эйнштейн изложил в статье «Религия и наука». В ней он выделил три ступени в развитии религиозных представлений: религии страха (в частности, язычество), религии морали, к которым относил христианство, иудаизм и ислам, и третью ступень — религию будущего: «Существует еще и третья ступень религиозного чувства, хотя в чистом виде она встречается редко. Я назову эту ступень космическим религиозным чувством. Тому, кто чужд этому чувству, очень трудно объяснить, в чем оно состоит, тем более, что антропоморфной концепции Бога, соответствующей ему, не существует. Индивидуум ощущает ничтожность человеческих желаний и целей, с одной стороны, и возвышенность и чудесный порядок, проявляющийся в природе и в мире идей, — с другой. Он начинает рассматривать свое существование как своего рода тюремное заключение и лишь всю Вселенную в целом воспринимает как нечто единое и осмыслившее» [209]. Говоря о научном подвиге Кеплера и Ньютона, Эйнштейн признался: «Только тот, кто сам посвятил свою жизнь аналогичным целям, сумеет понять, что вдохновляет таких людей и дает им силы сохранить верность поставленной перед собой цели, несмотря на бесчисленные неудачи. Люди такого склада черпают силу в космическом религиозном чувстве. Один

¹⁾ Цитируется по книге В. Львова «Эйнштейн». М.: Молодая гвардия, 1959, с. 234.

из наших современников сказал, и не без основания, что в наш материалистический век серьезными учеными могут быть только глубоко религиозные люди» [209]. Эйнштейн писал, что «зачатки космического религиозного чувства можно обнаружить на более ранних ступенях развития, например, в некоторых псалмах Давида и книгах пророков Ветхого Завета. Гораздо более сильный элемент космического религиозного чувства, как учат нас работы Шопенгауэра, имеется в буддизме». (Отметим, что протоиерей А. Мень причислял Эйнштейна к верующим в Бога.)

Соотношение взглядов на религию М. Планка и А. Эйнштейна обсуждалось в книге В. Гейзенберга «Физика и философия. Часть и целое» [43]. В частности, был приведен разговор физиков-теоретиков во время Сольвеевского конгресса 1927 г.: «Кто-то задал вопрос:

— Эйнштейн так много говорит о Господе Боге, что бы это могло значить? Ведь, собственно говоря, нельзя же представить, что такой ученый, как Эйнштейн, был так привязан к религиозной традиции.

— Эйнштейн, пожалуй, нет, но вот Макс Планк, наверное, да, — ответили ему.

— Имеются высказывания Планка о соотношении религии и естествознания, в которых он стоит на той позиции, что между ними нет никакого противоречия, что религия и естествознание прекрасно согласуются друг с другом.» [43, с. 208].

Сам Гейзенберг трактовал позицию Планка следующим образом: «Мне кажется, что для Планка религия соединима с естествознанием потому, что они, по его мнению, относятся к совершенно разным областям действительности. Естествознание имеет дело с объективным материальным миром. Оно ставит перед нами задачу сформулировать правильные высказывания об этой объективной действительности и понять существующие в ней связи. Религия же имеет дело с миром ценностей. Она говорит о том, что должно быть, что мы должны делать, а не о том, что есть.» [43, с. 208].

Там же приведена позиция В. Паули, придерживавшегося, как и Эйнштейн, холистического подхода в этом вопросе: «... я не вижу большого смысла в философии Планка, даже если она логически выдержана и даже если я уважаю вытекающую из нее жизненную установку. Эйнштейновское мировоззрение мне ближе. Господь Бог, о котором он столь охотно вспоминает, имеет у него отношение к неизменным природным законам. У Эйнштейна есть чувство центрального порядка вещей. Он ощущает, что он сильно и непосредственно пережил эту простоту при открытии теории относительности. Конечно, отсюда еще далеко до догматов религии. Эйнштейн едва ли привязан к какой-либо религиозной традиции, и я считал бы, что представление о личностном Боге ему совершенно чуждо. Однако для него не существует разрыва

между наукой и религией. Центральный порядок принадлежит для него как к субъективной, так и к объективной области, и это представляется мне наилучшим исходным пунктом» [43, с. 208].

П. А. М. Дирак придерживался резко иной точки зрения. Он говорил: «Я в принципе отвергаю религиозные мифы хотя бы уже потому, что мифы различных религий противоречат друг другу... Религия — это род опиума, который дают народу, чтобы убаюкать его сладкими фантазиями, утешив таким образом насчет гнетущих его несправедливостей...» [43, с. 211].

Оспаривая позицию Дирака, Нильс Бор следующим образом сформулировал свое отношение к ней: «И все же: так говорить о религии, конечно, нельзя. Правда, мне как и Дираку, чужда идея личностного Бога. Но прежде всего надо уяснить себе, что в религии язык используется совершеннее иначе, чем в науке. Язык религии родственнее скорее языку поэзии, чем языку науки... Если религии всех эпох говорят образами, символами и парадоксами, то это, видимо, потому, что просто не существует никаких других возможностей охватить ту действительность, которая здесь имеется в виду. Но отсюда еще вовсе не следует, что она не подлинная действительность. И расщепляя эту действительность на объективную и субъективную стороны, мы вряд ли здесь далеко продвинемся. Поэтому я как раскрепощение нашего мышления ощущаю то, что развитие физики за последние десятилетия показало нам, насколько проблематичны понятия „объективности“ и „субъективности“. Это обнаружила уже теория относительности... в квантовой механике отход от этого идеала произошел намного более радикально» [43].

В. Гейзенберг связывал религию с вопросом о ценностях: «Вопрос о ценностях — это ведь вопрос о том, что мы делаем, к чему стремимся, как должны вести себя. Он поэтому ставится о человеке и для человека; это вопрос о компасе, котором мы должны руководствоваться, отыскивая свой путь в жизни. Этот компас в разных религиях и мировоззрениях получил разные названия: счастье, воля Божья, смысл и еще многое другое. Различие названий говорит об очень глубоких различиях в структуре сознания человеческих групп, назвавших свои компасы такими именами. Я никоим образом не хочу умалять этих различий. Однако у меня складывается впечатление, что во всех формулировках речь идет об отношении людей к центральному миропорядку» [43, с. 326].

Гейзенберг описал свой диалог с В. Паули, который его спросил:

— Веруешь ли ты в личностного Бога? Я, конечно, понимаю, что такому вопросу трудно придать ясный смысл, но направленность вопроса все же вполне понятна.

— А можно ли мне сформулировать этот вопрос иначе? — отвечал я. — Например так: можешь ли ты, или можно ли вообще отно-

ситься к центральному порядку вещей или событий так непосредственно, вступать с ним в такую глубокую связь, в какую можно вступать с душой другого человека? Я намеренно беру здесь это столь трудное для истолкования слово «душа», чтобы ты понял меня правильно. Если ты спросишь таким вот образом, то я отвечу «да».

Следует отметить также религиозные взгляды А. Эддингтона, Д. Джинса, П. Йордана. Соотношение науки и религии обсуждали в самом позитивном духе Ч. Таунса и Э. Шредингера.

Лауреат Нобелевской премии И. Р. Пригожин во время выступления в Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова неоднократно поминал Бога. Когда его спросили: Верите ли Вы в Бога? — он сказал буквально следующее: «Я не могу ответить на этот вопрос. Я не знаю, что это такое. Есть Бог христианский, есть Бог иудейский... Я считаю, что природа бесконечна и чрезвычайно интересна. Чем больше мы ее понимаем, тем более интересно. Мы должны быть толерантны. Мы все удивлены: Что такое человек? Что такое природа? Каждый может и должен иметь свое мнение».

По известным причинам трудно охарактеризовать взгляды на религию отечественных ученых после октября 1917 г. Верующими христианами были выдающийся физиолог И. П. Павлов и известный математик В. И. Смирнов — автор многотомного курса по высшей математике. Не принято было упоминать о религиозных взглядах К. Э. Циолковского.

Наконец, более свежие примеры: академика Н. Н. Боголюбова, долгое время бывшего директором Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) в Дубне, отпевали в Новодевичьем монастыре. Скончавшегося в 1994 г. видного физика-теоретика, профессора МГУ Д. Д. Иваненко отпевали в церкви Живоначальной Троицы в Москве на Воробьевых горах.

18.2. Первоначало в естествознании и Бог в религии

В книге Александра Меня приводится следующее довольно примечательное высказывание известного астронома Н. Морозова: «Когда современного умственно развитого человека спрашивают: верит ли он в Бога, то ему приходится отвечать: о каком Боге вы говорите? Если о библейском Боге в виде старика лет примерно восьмидесяти, с седой длинной бородой... сидящего на престоле на верху стеклянного колпака над нашей атмосферой, то, конечно, нет. Но если вы под этим словом подразумеваете единую и основную — по учению современной науки — сущность всех творческих сил Вселенной... то как я могу отвергнуть эту единую и всюду разлитую творческую сущность Вселенной, не

отвергая этим самым всего себя(…) Вся Вселенная полна различных форм творческого сознания, и силы стихийной природы отличаются от на них организовавшихся психических сил только своей одеждой, а не сущностью. Таково научное представление о едином, вечном, вездесущем и все наполняющем творческом начале Вселенной, т. е., выражаясь теологическим языком, о Боге-Отце, вечном Творце и Обновителе „неба и земли, всего видимого и невидимого“ [108, с. 211].

В этом высказывании явно просматривается холистический взгляд на мироздание и на Бога как на его Первоначало. Аналогичные суждения можно усмотреть во множестве других размышлений о Боге.

Художественная обработка христианских представлений о Боге дана в стихотворении Г. Р. Державина «Бог»:

«О ты, пространством бесконечный,
Живый в движеньи вещества,
Теченьем времени превечный,
Без лиц, в трех лицах божества!
Дух всюду сущий и единый,
Кому нет места и причины,
Кого никто постичь не мог,
Кто все собою наполняет,
Объемлет, зиждет, сохраняет,
Кого мы называем: Бог».

Более рациональную характеристику Бога можно найти у И. Канта. В своей работе «Единственно возможное основание для доказательства бытия Бога» он писал: «Нечто существует безусловно необходимо. Это нечто единое в своем существе, просто в своей субстанции, дух по своей природе,ечно по длительности своего существования, неизменно по своему качеству, абсолютно самодовлеющее в отношении всего возможного и действительного. Оно — Бог. Я не даю здесь точного определения понятия Бога» [78, с. 422]. В другом месте этой работы говорится: «Бог абсолютно самодовлеющ. Все, что есть, будь то возможное или действительное, есть нечто, лишь поскольку оно дано через него. На человеческом языке бесконечное могло бы сказать себе так: я существую от вечности к вечности, помимо меня нет ничего, и все, что есть, только через меня есть нечто» [78, с. 494]. (Любопытно сравнить это с ленинским определением материи…)

Г. Лейбниц следующим образом обосновывал существование Бога: «Блестящие успехи математических наук и попытка проникнуть путем химии и анатомии в недра вещей показали, что весьма многие явления можно объяснить, так сказать, механически из фигуры и движения тела, между тем как древние прибегали в этом случае либо к создателю,

либо к каким-то бестелесным формам. И вот некоторые проницательные люди стали делать попытки объяснить существование явлений природы, или феноменов, наблюдаемых в тела, без допущения Бога и не принимая его в расчет. (...) И прежде всего я охотно соглашаюсь с нынешними философами, воскресившими Демокрита и Эпикура (их Роберт Бойль весьма удачно называет корпускулярными философами), как-то: с Галилеем, Бэконом, Гассенди, Декартом, Гоббсом, Дигби — в том, что при объяснении телесных явлений не следует без нужды прибегать ни к Богу, ни к какой-либо другой бестелесной вещи, форме или свойству (не стоит впутывать Бога, если предмет его недостоин) и что все, насколько возможно, следует выводить из природы тела и его первичных свойств величины, фигуры и движения. Но что, если я докажу, что в природе тела нельзя найти начала даже этих первичных свойств?» [97, с. 78].

Взгляды Лейбница на природу в наиболее концентрированной форме изложены в его «Монадологии» [97]. Там он пишет: «Один только Бог есть первичное Единство, или изначальная простая субстанция» [97, с. 421]. Подчеркнем мысль Лейбница, что уместно говорить о Боге лишь тогда, когда речь идет о самых началах знания, о самых первичных свойствах сущего. Фактически он понимал под Богом «первичное Единство». «Бог есть первая причина вещей... Следовательно, надо искать причину существования мира, являющегося совокупностью случайных вещей... в субстанции, имеющей в себе основание своего бытия и, следовательно, необходимой и вечной. Надо также, чтобы эта причина была разумной... Избрание же одного мира (из всех возможных мысленно, — Ю. С. В.) могло быть актом действенной воли. Только могущество этой субстанции дает воле осуществление. Могущество приводит к бытию, мудрость или разум к истине, а воля к благу. И эта разумная причина должна быть бесконечной во всех отношениях и абсолютно совершенной по могуществу, мудрости и благости, потому что она обнимает все, что возможно. И так как все соединено одно с другим, то нет места для допущения другой разумной причины. Ее разум служит источником сущностей, а ее воля служит началом существования. Вот в немногих словах доказательство бытия единого Бога с его совершенствами, а равно и происхождения вещей через него» [97, с. 134–135].

Напомним взгляды Г. Гегеля, изложенные в его «Лекциях о философии религии»: «Нам следует начать с вопроса: как установить начало? Требование любой науки (во всяком случае требование формальное), и особенно философии, заключается в том, чтобы в ней не было ничего недоказанного. Доказывать — в поверхностном смысле этого слова — означает, что всякое содержание, положение, понятие должно вытекать из предшествующего. Однако, начиная, мы еще ничего не доказали, ибо нет еще ничего, вытекающего из предшествующего, опосредственного,

положенного другим. В начале мы находимся в сфере непосредственного.» (...) «Начало религии по своему всеобщему содержанию есть не что иное, как еще не нераскрытое понятие самой религии, которое заключается в том, что Бог есть абсолютная истина, истина всего и что только религия есть абсолютно истинное знание. Поэтому мы начинаем наше изложение с Бога. Для нас, имеющих религию, Бог есть нечто знакомое содержание, которое количествует в субъективном сознании. Однако с научной точки зрения Бог – сначала лишь всеобщее абстрактное наименование, не получившее еще истинного содержания. Ибо философия религии и есть развитие, познание того, что есть Бог, и только с ее помощью можно научным путем познать, что есть Бог. Таким образом, Бог есть это хорошо известное, но научно еще нераскрытое, не познанное представление. Указывая на это оправдывающее самое себя в рамках нашей науки развитие, мы прежде всего исходим из убеждения, что результат философии состоит в том, что Бог есть абсолютно истинное, в себе и для себя всеобщее, всеохватывающее, всесодержащее и придающее всему устойчивость» [42, с. 273].

Ф. В. Шеллинг в «Философии искусства» [195] определял Бога в виде ряда тезисов. Приведем некоторые из них.

1. Абсолютное, или Бог, есть то, в отношении чего бытие, или реальность, вытекают из его идеи *непосредственно*, т. е. в силу простого закона тождества, или Бог есть непосредственное утверждение самого себя.
2. Бог как бесконечное утверждение самого себя *объемлет* себя самого как бесконечное утверждающее, как бесконечно утвержденное и как неразличимость того и другого, но сам он *не есть ничто* из этого в отдельности.
3. Бог непосредственно в силу своей идеи составляет абсолютное *Все* (*das All*).
4. Абсолютное безусловноечно.
5. Бесконечная утвержденностъ Бога во всем или обличение его бесконечной *идеальности* в реальность, как таковую, есть вечная природа.

Эти и другие, здесь не приведенные выдержки (см. также [31]) очень напоминают аксиоматику в геометрии или в физике. Напомним, в аксиоматике геометрии примитивами являются бесконечно длинные прямые линии, бесконечные плоскости или точки, бесконечно малых размеров. Такие понятия во всей полноте разум не способен охватить, но, тем не менее, человечество научилось оперировать с ними. Оказывается, нет надобности разрабатывать их определения, достаточно сформулировать аксиомы, которым эти понятия удовлетворяют. В итоге любой школьник решает задачи, доказывает теоремы, оперируя с бесконечными прямыми

линиями и плоскостями. Однако размышления об их сути, о свойствах параллельных линий в бесконечности привели в свое время к открытию неевклидовых геометрий а затем — к созданию общей теории относительности и вообще к геометрическому миропониманию.

Сопоставляя друг с другом совокупность определений (или описаний) Бога, невольно приходишь к ощущению, что создав (или получив) столь экстремальное, превышающее все мыслимые рамки понятие, человеческий разум стремится всеми доступными ему средствами его охватить, разработать методику оперирования с этим понятием. Невольно на ум приходят ассоциации с сингулярными функциями (например, с δ -функциями Дирака) в математике, которые в точке обращаются в бесконечность, но тем не менее имеются четкие правила работы с ними.

Суммируя все приведенные высказывания о Боге, можно сделать вывод: *Бог — это олицетворение Первоначала высших тайн природы и тайнств духовной жизни человека*. При этом существенно, что в большинстве высказываний речь идет об едином Первоначале как естествознания, так и духовной сферы¹⁾.

Если в физике идут к Первоначалу, если можно так сказать, «снизу», т. е. от частного к общему (от триалистической парадигмы через три вида дуалистических миропониманий к холизму), то в религиозных (философско-религиозных) системах Запада и Востока идея Первоначала является исходной. Отмеченные в предыдущей главе три вида философско-религиозных мировоззрений представляют собой по образному выражению С. Булгакова «тряскую возможность философствующей ереселогии, монистического модализма», когда единая «нераздельность и несекомость» непрестанно в разных направлениях рассекает «еретичествующую мысль».

18.3. Творение мира в религии и в физике

1. Согласно христианскому «Закону Божьему», «Бог есть Дух вечный, всеблагой, всеведущий, всеправедный, всемогущий, всездесущий, неизменяемый, вседовольный, всеблаженный. Он сотворил все видимое и невидимое, все содержит в своей власти и всем управляет...». Но что такое «создал»? Как это понимать, буквально или символически?

¹⁾ В связи с этим хотелось бы обратить внимание на характерную «неточность», вкравшуюся в многотомный труд протоиерея Александра Меня. Причисляя А. Эйнштейна к верующим в Бога, он приводит пространную цитату из его лекции «От относительного к абсолютному», где говорится о том, что наряду с относительными величинами должны существовать абсолютные [108, с. 52]. Эйнштейн имел в виду инварианты, т. е. величины, одинаковые во всех системах отсчета. Мень же понял их как Первоначало и в цитате написал «Абсолютное» с большой буквы, как это принято для обозначения Бога.

Сторонники буквальной трактовки Священного писания считают, что Бог сотворил мир примерно семь тысяч лет тому назад за шесть дней по 24 часа в каждом. Подобное понимание текста Библии полностью игнорирует достижения современной космологии, геологии, археологии и ряда других областей науки и поэтому представляется неприемлемым.

Знакомство с религиозными памятниками прошлого (Махабхарата, Рамаяна, И цзин, Коран и др.) убедительно свидетельствует о том, что содержащиеся в них представления и идеи выражены посредством образов, символов, иносказаний. Поэтому возможны разные их прочтения в зависимости от уровня развития культуры. Это относится и к пониманию тезиса о творении мира.

2. В современной физике происхождение Вселенной описывается на основе общей теории относительности, или, точнее, опираясь на космологические решения Фридмана уравнений Эйнштейна. Эти решения имеют особенности (бесконечные плотности материи) в начале (или в конце, или с обеих сторон) эволюции модели, что принято интерпретировать в духе христианского творения мира (из «ничего»). При этом естественно возникают вопросы: что было до «большого взрыва»? Общепринятый ответ состоит в том, что время и пространство возникло в момент рождения Вселенной, т. е. понятие времени «до взрыва» лишено смысла. Более корректно полагать, что закономерности общей теории относительности теряют силу в окрестности сингулярности, так что сказать что-либо на основе этой теории (в рамках современных представлений) невозможно.

Ряд представителей христианской Церкви благосклонно воспринимает выводы общей теории относительности, трактуя их как научное подтверждение библейского текста о творении мира Богом.

3. В ряде восточных философско-религиозных учений, а также у Аристотеля нет доктрины о творении мира в какой-то момент времени (отдельно или вместе с пространством и временем).

В современной физике активно обсуждаются и варианты вечного существования Вселенной с разными сценариями эволюции. Против гипотезы рождения Вселенной в виде «большого взрыва» выступал В. А. Амбарцумян, считавший, что в одних частях Вселенной происходят рождения отдельных скоплений галактик, а в других — их гибель. В релятивистской теории гравитации А. А. Логунова речь идет о пульсирующей Вселенной. В ряде работ поднимается вопрос о возможности квантового туннельного перехода космологических моделей через сингулярные состояния, что также должно соответствовать своеобразным пульсациям мира.

Можно понять позицию тех христианских деятелей, которые с осторожностью относятся к тезису о научном подтверждении общей теорией относительности доктрины о Божественном творении мира. Ведь в про-

цессе развития науки на смену общей теории относительности может прийти иная теория, потребующая пересмотра устоявшихся положений.

4. Существует и иная трактовка творения мира, отражающая стремление естествоиспытателей прошлого и физиков-теоретиков нашего времени найти первооснову (первоначало) физического мироздания, из которого бы следовали все известные понятия и закономерности. В рассмотренной выше бинарной геометрофизике первооснова представлена бинарной системой комплексных отношений, из которой можно образовать понятия окружающего мира. В некотором смысле физическое первопонятие действительно «творит» все классические понятия, через которые описывается (представляется нашим разумом) материальный мир.

Идея о макроскопической природе классического пространства-времени и других понятий физики и необходимость перехода к единой обобщенной категории выводит понятия и закономерности монистической физической теории за *пределы привычного физического мира* и в этом смысле за *пределы классического пространства и времени*. Согласно этой идеи, весь окружающий нас мир, включая его понятия, оказывается производным от некой первоосновы, уже проявляющейся в физике микромира. Что это как не *представления о неком физическом Творце, лежащем за пределами классического мира?* Невольно вспоминаются приведенные выше слова Державина: «Дух всюду сущий и единый, Кому нет места и причины... Кто все собою наполняет, объемлет, зиждет, сохраняет, Кого мы называем: Бог».

Близкие идеи отражены в восточных верованиях. Как уже отмечалось, в даосизме, родственном с буддизмом, Первоосновой мира является Дао. К нему не приложимы понятия места нахождения или времени, но вместе с тем нет места во Вселенной, где бы не присутствовало Дао. Именно из Дао через проекции в наш мир «дэ» возникают все используемые человеком понятия.

5. Попытки примирить христианские воззрения о Боге-Творце мира с незыблемостью законов классической физики неизбежно влекут за собой представление о Его участии лишь в создании мира и его законов. На этом роль Бога, при таком понимании, исчерпывается, поскольку дальше мир развивается по заданным законам. Зачем же тогда верующим обращаться к Богу и о чем-то просить? Об этом парадоксе можно найти упоминание у Лейбница.

Подобного парадокса нет в бинарной геометрофизике, так как в ней понятие «творения» значительно содержательнее, и переходы мира из одного состояния в другое образуют звенья единой цепи эволюции. Описываемое бинарной геометрофизикой «творение» происходит непрерывно, отражая процесс развития мира.

О непрерывности творения говорят и западные богословы. По этому поводу А. А. Гриб пишет: «В. Панненберг говорит, что Бог — в будущем! Его действие, в отличие от действия сил природы, есть действие из будущего — как идеал, цель, привлекающая человека, не заставляя его, в отличие от причины, действующей из прошлого. Творение из ничего происходит непрерывно, и это есть то, что мы называем становлением — превращением будущего в настоящее и прошлое. При этом, однако, существа, обладающие свободной волей, — живые существа и, возможно, квантовые частицы — соучаствуют в творении. Подобную точку зрения — соучастия свободных, сотворенных Богом существ, и Бога в ежесекундно становящемся новом мире отстаивают также сторонники английской школы богословия процесса, находящиеся под влиянием английского философа Уайтхеда» [49].

6. Предложенная в настоящей книге концепция творения представляется более содержательной, нежели идеология, основанная на сопоставлении теории «большого взрыва» в астрофизике с ветхозаветным описанием творения мира. Кто может гарантировать, что современная физическая картина мира останется такой же хотя бы до середины XXI в.? Если творение понимать в обобщенном смысле, то альтернативные физические идеи не вступят в противоречие с расширенным пониманием христианской идеи творения мира.

18.4. Триединство, христианская Троица и бинарная геометрофизика

В разных религиозных системах первично Начало называется по-разному: Бог в христианстве, Аллах — в исламе, Демиург, или Первовигатель — у Аристотеля, Дао — в даосизме, Дхармы — в буддизме и т. д. Конечно, во всех религиях Оно выступает в образной, мифо-поэтической форме, причем необязательно в антропоморфном виде, как это символически изображается на христианских иконах. Характер и свойства Первоначала также понимаются по-разному. В некоторых религиозных системах вообще накладывается табу на его осмысление; в христианстве, даосизме, буддизме и некоторых других учениях постулируется некая система представлений (догматов) о Первоначале.

Одним из ключевых догматов христианства является догмат Святой Троицы, принятый на Втором Вселенском соборе (IV в.). К. Г. Юнг в своей «Попытке психологического истолкования догмата о Троице» значительное место уделил обсуждению идеи триединства и троичности в дохристианских религиозно-философских воззрениях вавилонян, египтян и античности. При этом он отметил: «Вопрос о том, были ли эти идеи переданы последующим векам путем миграции или традиции

или же в каждом случае они спонтанно возникали заново, имеет мало значения. Главное в том, что они были налицо, потому что, поднявшись однажды из бессознательного духа человечества (причем не только в Передней Азии!), они могли затем заново возникать в любое время и в любом месте. Более чем сомнительно, что древнеегипетская теология хотя бы отдаленно была известна отцам Церкви, составившим формулу омоусии. И тем не менее они не могли успокоиться, пока в полном объеме не воспроизвели древнеегипетский *архетип*» [213, с. 27].

Философское осмысление триединого Первоначала было предложено Аристотелем, вызвав значительно позже дискуссии между его последователями и сторонниками Платона, считавшими, что для осмысления Первоначала (мира) достаточно двух сторон. Возникшая проблема нашла свое развитие в философии Гегеля и в какой-то форме была отражена в диалектическом материализме, где монистическая парадигма присутствовала в виде диалектического метода исследования. Выше уже отмечалось, что родство аристотелевской идеи о единстве Первоначала и догмата Святой Троицы позволило создать синтез учения Аристотеля и христианства, просуществовавший до нового времени.

Догмат Троицы соответствует одному из названных выше метафизических принципов: принципу тринитарности, который проявляется в форме троичности (при редукционистском подходе) или в форме единства (в холистическом подходе).

В основу древнекитайского философско-религиозного учения, — даосизма, — также была положена идея единства Первоначала: «Дао порождает единое, единое порождает двоицу, двоица порождает троицу, а троица порождает все множество вещей».

Напомним, что означает догмат Святой Троицы в христианстве: «Троица единосущная и нераздельная! Отец, Сын и Святой Дух! Один равен трем! Один и много не отличаются — понятие числа к Богу неприменимо!» (цит. по [49, с. 114]).

В «Догматическом богословии» В. Н. Лосского читаем: «Бог — непознаваемый как Троица, но также и открывающий Себя как Троица. Вот предел апофатизма: Откровение о Троице, как об изначальном факте, абсолютной реальности, первопричине, которую нельзя ни вывести, ни объяснить, ни найти, исходя из какой-либо другой истины, ибо нет ничего, Ей предшествующего» [102, с. 51]. Аналогичное понимание находим у Григория Богослова: «„Быть нерожденным, рождаться и исходить“ дает наименования: первое — Отцу, второе — Сыну, третье — Святому Духу, так что неслитность трех Ипостасей соблюдается в едином естестве и достоинстве Божества. Сын — не Отец, потому что Отец — один, но то же, что Отец. Дух не Сын, хотя и от Бога (потому что Единородный — один), но то же, что Сын. И Три — единое по Божеству, и Единое — три по личным свойствам» (цит. по [102, с. 43]).

На протяжении многих веков богословы и философы пытались осмысливать содержание догмата Святой Троицы. Выявились две крайние точки зрения. Первая — представлена о. Павлом Флоренским, отрицавшим возможность рационального толкования догмата: «Троица в Единице и Единица в Троице для рассудка ничего не означает». Он считал, что и не следует пытаться охватить разумом ее суть, а надо лишь преодолевать ее тайну подвигом веры. Вторая точка зрения, — противоположная, — была сформулирована Е. Н. Трубецким и нашла отражение в работах Б. В. Раушенбаха, который по этому поводу писал: «Человеческий ум всегда стремится понять высказываемое утверждение. «Понять» означает включить это утверждение в совокупность истин, подтверждаемых повседневной человеческой практикой, в конечном счете согласовать его с рациональной формальной логикой» [137, с. 118].

Предлагая рациональное толкование догмата и стремясь показать его соответствие учению Церкви, Раушенбах выделял восемь свойств Троицы, из которых шесть он относил к логическим (триединство, единносущность, нераздельность, соприсносущность, специфичность, взаимодействие), а остальные два — святость и живоначальность — к вне-логическим. Первые семь свойств, согласно Б. В. Раушенбаху, нашли отражение в Троице Андрея Рублева, а шесть логических свойств — в его трактовке проекций трехмерного вектора в пространстве трех измерений. (При анализе векторной аналогии, конечно же, не было речи о живоначальности.)

Главное, что хотелось бы отметить в позиции Раушенбаха, состоит в необходимости сопоставления идей богословия с понятиями и принципами естествознания (теоретической физики). Следует также согласиться с тем, что 3-мерность классического пространства отражает метафизический принцип триединства, соответствующий догмату Святой Троицы. Однако сам факт 3-мерности пространства выглядит недостаточно фундаментальным, чтобы трактоваться в качестве естественно-научного аналога христианской Троицы. В современной теоретической физике 3-мерное пространство неотделимо от классического 4-мерного пространственно-временного многообразия. Кроме того, науке известны 5-мерные геометрические модели и теории еще большей размерности.

Наконец, и в этом мы видим существенное возражение позиции Раушенбаха, в настоящее время разрабатывается проблема обоснования наблюдаемой 3-мерности классического пространства, исходя из неких более глубоких физических принципов. Так, в бинарной геометрофизике на основе более элементарной бинарной геометрии. Это позволяет полагать, что физическим аналогом христианской Троицы является бинарная система комплексных отношений, которая содержит в себе нераздельные три стороны в виде двух множеств элементов и отношений между ними. Причем все свойства Троицы, сформулированные Раушенбахом, вполне приложимы к данной интерпретации.

18.5. Динамический характер триединого Первоначала

В основе бинарной геометрофизики, как уже отмечалось, лежит самое элементарное звено произвольного процесса — переход системы из одного состояния в другое. Причем, два множества элементов бинарной системы отношений описывают два состояния системы (начальное и конечное), а отношение между ними (связь между ними) характеризует сам процесс перехода. Это невольно наводит на мысль о близкой аналогии оснований бинарной геометрофизики с догматом христианства о Троице, как трех ипостасей Бога. *Одно множество элементов бинарной системы комплексных отношений (БСКО), интерпретируемое как начальное состояние (мировой) системы, следует сопоставить с ипостасью Бога-Отца, второе множество элементов, интерпретируемое как конечное состояние (мировой) системы состояний, — с ипостасью Бога-Сына, а отношения между элементами двух множеств можно уподобить Богу-Святому Духу.*

Эта аналогия хорошо отражается рядом новозаветных изображений Троицы, где Бог-Отец представляется в виде Старца, Бог-Сын — в виде младенца (Иисуса Христа), а Бог-Святой Дух рисуется в виде Голубя между ними. Аналогично воспринимается изображение Святой Троицы на куполе храма Христа-Спасителя в Москве: Бог-Отец с Сыном (Иисусом Христом) на руках, а Святой Дух усматривается в изображении голубя и в лучах света, исходящего от главы Бога-Отца. Очевидно, образы Отца и Сына можно понимать как художественное воплощение идеи смены двух поколений в жизни человека.

Данную аналогию можно усмотреть и анализируя второй план ветхозаветной Троицы Андрея Рублева: за Богом-Отцом изображается некое фундаментальное строение, за Богом-Сыном — дерево, символизирующее жизнь, развитие, а за Богом-Святым Духом — горные кручки, символ духовного восхождения. Кстати, в столь почитаемой на Руси иконе Богородицы с Младенцем также можно увидеть художественное отражение той же идеи смены двух поколений рода человеческого.

Подчеркнем, что триединая конструкция из двух множеств и отношений между ними неделима. Исключая любую из этих трех частей, мы сразу же лишаемся понятия бинарной системы. Уберите первое множество элементов (аналога Бога-Отца), и сразу же теряют смысл и второе множество (аналог Бога-Сына), как следующая (конечная) стадия процесса, и понятие отношения (аналога Бога-Святого Духа) между элементами разных множеств. Без понятия отношения эти множества разделяются, оказываются разобщенными и тем самым теряющими свое назначение и смысл.

В связи с предложенной интерпретацией Троицы как процесса, обратимся к различным толкованиям догмата Триединого Бога. Пытаясь отвечать на множество вопросов и борясь с искушениями и ложными толкованиями догмата, св. отцы давали различные дефиниции его сущности. Приведем несколько наиболее характерных. Так, «неслияность и нераздельность» Божественного Триединства уподоблялись воле, разуму и действию (телу) или предлагалась аналогия с солнцем, лучем и светом. Часто встречается отождествление Бога с любовью, которая проявляется как единство трех сторон: Любящий, Любимый и связывающая их Любовь. В этой же связи рассматривался строй грамматической фразы, содержащий подлежащее (действующее лицо), сказуемое (само действие) и объект, на который направлено действие. Можно назвать и другие примеры: троичность мышления (тезис, антитезис, синтез), свойства времени (прошлое, настоящее и будущее) и т. д. Примечательно, что все эти примеры фактически соответствуют элементарному звену процесса, отражая две его стороны и третье, их соединяющее.

Известные современные западные богословы Роберт Йенсен (США), Юрген Мольтман и Вольфарт Панненберг (Германия) также пришли к аналогичному выводу о связи идеи Троицы с понятием процесса и, в частности, с понятием времени. Так, Йенсен пишет: «Время — это то, что случается, когда Святой Дух приходит от Отца к Сыну. Время существует потому, что Дух не Отец и оба они встречаются в Сыне!» (Цит. по [49]). Еще более определенно выражается Юрген Мольтман: «Бог — это не другая природа или божественная персона или моральный авторитет, но фактически событие!» (Цит. по [49]).

Физик-теоретик А. А. Гриб, рассматривая этот богословский вопрос, пишет: «Так или иначе, но в отличие от пространственного Бога греков, находящегося «где-то» (например, на Олимпе), или совпадающего со всей пространственной Вселенной у пантеистов, Бог иудео-христианства есть, прежде всего, Дух! Дух же, как и человеческая душа, прежде всего, существует во времени. Так, сегодня весьма популярно считать душу программой организма, реализуемой во времени. Время же — это настоящее, прошлое и будущее. Нечто типа времени есть в Боге: Сын после Отца (хотя и нельзя сказать вместе с Аристом, что было, когда Он (Сын) не был), так как рожден Им, и потому есть время и в сотворенном мире как подобие Троицы... Первым, кто стал понимать вечность не как эллинистическое понятие противоположности времени — некоторую неизменность, а как полноту времен, содержащую любую конечную временность, был один из великих каппадокийцев 4 века святой Григорий Нисский. Поэтому и возможна формулировка Мольтмана и Йенсена: „Бог есть событие!“» [49].

18.6. Филиокве и стрела времени

Рассмотрим с позиций метафизики — в рамках монистической парадигмы — постулат филиокве, разделивший христианскую Церковь на западную и восточную ветви.

Как известно, понимание Троицы различно в западной (католической и протестантской) и восточной (православной) христианской традиции. Расхождение состоит в понимании того, от Кого исходит Бог Святой Дух: только от Бога-Отца (православное учение) или и от Бога-Отца, и от Бога-Сына (западная христианская традиция). Это отличие, кажущееся непосвященному малозначимым, оказалось чрезвычайно существенным для понимания мироустройства и обусловило разные пути развития западной и восточной культуры и повлияло на процесс становления науки.

Католическое положение об исхождении Святого Духа не только от Бога-Отца, но и от Бога-Сына было произведено западной церковью в IX в. и получило название филиокве (*Filioque*). Как утверждает В. Н. Лосский, «именно *Filioque* и был «первопричиной» разделения Востока и Запада; остальные доктринальные разногласия — только его последствия. (...) В формуле исхождения Святого Духа от Отца и Сына греки увидели тенденцию подчеркнуть единство природы в ущерб реальному различию Лиц; соотношения по происхождению, не приводящие Сына и Духа непосредственно к Единому Источнику — Отцу, одного как Рожденного, Другого — как Исходящего, — становятся некой «системой соотношений» в единой сущности, чем-то логически сущности последствующим. Действительно, в умозрении Западной Церкви Отец и Сын изводят Дух Святой, поскольку Они представляют единую природу; в свою очередь Святой Дух, который для Западных богословов является «связью между Отцом и Сыном», означает природное единство двух первых Лиц. Ипостасные свойства (отцовство, рождение, исхождение) оказываются более или менее растворенными в природе или сущности, которая как начало единства Святой Троицы становится дифференцированным соотношением: соотнесясь к Сыну — как Отец, к Святому Духу — как Отец и Сын. Отношения, вместо того, чтобы отличать Ипостаси, с Ними отождествляются. Позднее святой Фома Аквинский это и скажет: „Название „Лицо“ означает отношение“ [102, с. 45–46].

В дискуссии о филиокве опять всплыло понятие «отношение», имеющее столь важное значение в бинарной геометрофизики и, — шире, — в реляционном видении физического мироздания. Как видно из процитированного текста, основные положения бинарной геометрофизики (на первичном уровне $R_\mu(\mu)$) соотносимы именно с западным пониманием догмата Троицы. В исходных положениях бинарной геометрофизики постулируются два множества элементов без разделения на первое

и второе, а отношения между ними задаются симметричным образом. Направление же развития процесса пока остается незаданным и в каком-то смысле различен между аналогом Бога-Отца и аналогом Бога-Сына стирается. Как один, так и второй могут быть первыми.

Трактовка двух множеств как начальное и конечное в бинарной геометрофизике возникает позднее, когда рассматривается влияние на взаимодействие частиц со стороны всей окружающей материи мира, т. е. когда учитывается принцип Маха. Напомним, в теории прямого межчастичного взаимодействия это соответствует учету мирового поглотителя Фейнмана—Уилера. Кроме того, необходимо перейти к макроприбору. Именно на данной стадии возникают понятия «раньше-позже» и все связанное с квантовой механикой и физическим принципом причинности. Строго говоря, только здесь вступает в силу интерпретация одного множества через начальные состояния, а второго — через конечные состояния системы.

Возвращаясь к различию понимания Святой Троицы в Восточной и Западной Церквях, полагаем, что исходжение Святого Духа только от Бога-Отца соответствует в физике учету принципа причинности (запаздывающего характера взаимодействий). Таким образом, можно заключить, что в физике просматриваются аналоги как западного, так и восточного понимания догмата Святой Троицы. Аналог западного понимания оказывается более элементарным, но не учитывающим влияния окружающего мира, подобно теории прямого межчастичного взаимодействия Фоккера без мирового поглотителя Фейнмана—Уилера. Аналог восточного (православного) понимания Троицы более близок макрофизике (относительно макроприбора) при учете влияния мирового поглотителя (т. е. соответствует теориям $R_m^M(\mu)$).

В работе А. А. Гриба обсуждается вопрос о двух ветвях цивилизации, развивавшихся на основе различных пониманий догмата Троицы. Он пишет: «И теперь опять вернемся к диспуту о филиокве. Какая цивилизация возникает, если Дух Святой исходит не только от Отца, но и от Сына (филиокве)? Сын — это Логос — объективное. Но тогда, наблюдая объективное, можно приобщиться Духу Святому. Вдохновение заменяется наблюдением, изучением. (...) Изучая Библию, изучая устройство Вселенной, можно приобщиться Духу Святому, как тайшому их смыслу. Возможны доказательства Бытия Божия из наблюдения Вселенной, пользуясь обычным человеческим разумом. Наконец, Дух Святой может быть объективно воплощен в земной организации — Римско-католической Церкви и в ее главе как распорядителе Духа Святого — папе Римскому. Отсюда ясно, что современная наука возникла в западной Европе как попытка раскрыть тайный смысл Вселенной и истории. Книга природы есть другое священное Писание, свидетельствующее о Боге — эта идея была провозглашена Галилео Галилеем. «Мы открыли текст,

написанный рукой Бога!» -- сказал об открытии уравнений Максвелла великий немецкий физик Генрих Герц. Тогда можно сказать вместе с современным английским физиком и богословом Дж. Полкингхорном, что святые - люди, на которых сошла благодать Духа Святого, -- это не только канонизированные Церковью святые, но и великие ученые - Галилей, Ньютон, Максвелл, Эйнштейн и другие» [49].

18.7. На пути к единому храму науки и веры

Как уже отмечалось, в далеком прошлом наука и религия составляли единое целое. Поскольку становление науки происходило в христианском регионе, то доктрины христианства самым непосредственным образом оказывались на развитии науки. Анализируя это влияние, П. П. Гайденко пишет: «Именно христианская теология, и прежде всего доктрины о творении и богооплощении оказали существенное влияние на становление новой науки. Благодаря этому влиянию было преодолено характерное для античной науки разделение всего сущего на естественное и искусственное: а также снят водораздел между небесным и земным мирами. Соответственно и принципиальное различие между математикой, как наукой об идеальных конструкциях, и физикой, как наукой о реальных вещах и их движениях, теперь оказывается преодоленным» [41, с. 29].

Однако в христианском учении были и положения, существенно тормозившие развитие науки. Среди них, в первую очередь, следует назвать предание о первородном грехе человека. Как пишет Гайденко, «и в эпоху эллинизма, и в средние века сознание собственной греховности было у христиан очень острым, а потому на первом плане была задача спасения души, а не покорение природы. Острота переживания первородного греха, видимо, помогала сохранять то чувство огромной дистанции между небесным и земным, которое на протяжении всего средневековья оставляло незыблемой античную картину мира, его разделение на небесный и земной» [41].

Преодолению данного препятствия в развитии науки способствовали магико-герметические идеи, получившие широкое распространение в средневековой Европе. Об этом П. П. Гайденко пишет: «Магико-оккультные течения эпохи Ренессанса изменили общемировоззренческую установку сознания: они создали образ Человека-Бога, способного не только до конца познавать природу, но и магически воздействовать на нее, преобразовывать ее в соответствии со своими интересами и целями. Ослабив сознание человеческой греховности, герметизм сократил дистанцию между трансцендентным Богом и тварным миром, с одной стороны, Богом и человеком, с другой. (...) Только в этой атмосфере оказалось возможным снять противопоставление естественного и искусственного, природы и техники, теоретически подготовленное ранее. В этом

новом свете открылась, наконец, перспектива реализовать возможности, заложенные в христианских догматах творения и богооплощения» [41].

Здесь фактически оказался затронутым вопрос о соотношении холистического догмата Святой Троицы, лежащего в основании христианства, с редукционистской практикой Церкви, состоящей в отделении духовного начала (веры) от разума, о чем уже упоминалось в высказывании Лейбница об альтернативе выбора: «разум или благочестие». Исходя из анализа развития фундаментальной теоретической физики, подчеркнем, что в ней искомое единое первоначало, представляя собой обобщенную категорию, принципиально отличается от каждой из трех категорий триалистической парадигмы, и на первый взгляд не видно, как из него возникают представления о трех категориях. Примером может служить изложенная выше бинарная система комплексных отношений, из которой в бинарной геометрофизике предлагается выводить категории классического пространства-времени, частиц и полей переносчиков взаимодействий. Если это иметь в виду, то альтернатива исчезает, и становится единственным возможным триединство, к которому призывали С. Н. Булгаков и В. С. Соловьев.

Сегодня наблюдается активный процесс переосмыслиния значимости религии в отечественной культуре. Рассматриваются проблемы соотношения религии и науки, обсуждаются толкования конкретных догматов классических религиозных конфессий. Данной проблематике, в частности, посвящены конференции «Христианство и наука» в рамках ежегодных Международных образовательных Рождественских чтений. На этих конференциях сопоставляются взгляды науки и Церкви на многие вопросы, такие как сущность жизни, происхождение человека, происхождение и эволюция Вселенной, проблемы жизни и смерти, соотношение эволюции и креационизма, взгляды на конечность и бесконечность и т. д. Проводимые дискуссии способствуют сближению позиций двух ветвей единой культуры, которые рано или поздно должны привести к единому, целостному знанию, или, выражаясь образно, к единому храму науки и веры.

Эту главу хотелось бы завершить словами В. И. Вернадского из его статьи «Научное мировоззрение»: «Не говоря уже о неизбежном и постоянно наблюдаемом питании науки идеями и понятиями, возникшими как в области религии, так и в области философии, — питания, требующего одновременной работы в этих различных областях сознания, необходимо обратить внимание на обратный процесс, проходящий через всю историю человечества. Рост науки неизбежно вызывает, в свою очередь, необычайное расширение границ философского и религиозного сознания человеческого духа; религия и философия, восприняв достигнутые научным мировоззрением данные, все дальше и дальше расширяет глубокие тайники человеческого сознания» [23, с. 189].

Заключение

Завершая рассмотрение метафизических основ современной теоретической физики, сформулируем положения, которые подводят итог всему предшествующему изложению.

1. В современной физике, как и в естествознании (натурфилософии) прошлых веков, важное значение имели идеи и принципы метафизики, истоки которой лежат в философско-религиозных учениях Запада и Востока.

2. Метафизика занимает особое место в системе знаний: ее понятия и принципы предназначены не для доказательств (этим занимается математика или физика), а для осмысливания достигнутых результатов и направлений дальнейших исследований.

3. В рамках фундаментальной теоретической физики, достигшей высокой степени абстракции, сложились необходимые предпосылки для выявления и формулирования основных принципов метафизики. Решающую роль здесь сыграл тот факт, что физика имеет дело со сравнительно простыми системами, которые поддаются строгому математическому описанию, позволяя отделить существенное от второстепенного.

4. Проведенный анализ развития фундаментальной теоретической физики позволил выявить следующие метафизические принципы, которые рассматриваются на примере конкретных физических теорий и программ:

- 1) принцип тринитарности, проявляющийся в виде троичности в редукционистском подходе или в виде триединства в холистическом подходе;
- 2) принцип фрактальности;
- 3) принцип октетности метафизических парадигм, т. е. наличия системы из триалистической, монистической и трех пар дуалистических парадигм;
- 4) принцип дополнительности дуалистических парадигм;
- 5) принцип консонанса дуалистических парадигм;
- 6) принцип целостности.

Проявления этих метафизических принципов продемонстрированы на примере конкретных физических теорий и программ.

5. Физика, как показало исследование, развивается не по одной магистральной линии. В ней, как и в любой другой области науки, научная работа ведется в рамках нескольких метафизических парадигм. В результате возникает уникальная возможность взглянуть на один и тот же предмет исследований под разными углами зрения. Осознание этого чрезвычайно важного обстоятельства позволяет отвергнуть предостережения И. Ньютона («Физика, боясь метафизики») или Э. Маха и П. Дюгема, пытавшихся оградить физику от дискуссий метафизического характера. Последние, как правило, касались тех сторон реальности, которые не были видны с позиций одной парадигмы, но открывались в теориях иных метафизических парадигм. Высказывания против метафизики в итоге оборачивались критикой доминировавшей парадигмы и выдвижением новой теории в рамках иной парадигмы.

6. Метафизика едина, но в ней представлен ряд метафизических парадигм. Согласно принципу дополнительности, физические теории различных метафизических парадигм не противоречат, а дополняют друг друга, представляя собой видение одной и той же реальности под разными углами зрения.

7. Рассмотрение соотношения теорий из 8 метафизических парадигм позволяет говорить об их аналогии с древнекитайской системой из восьми триграмм, обрамляющих символы Инь и Ян. На представленном рисунке тройки отрезков двух типов соответствуют трем физическим категориям: пространству-времени, полям переносчиков взаимодействий и частицам. Нижняя триграмма соответствует триалистической парадигме, а верхняя триграмма сопоставляется с монистической парадигмой. Три пары промежуточных триграмм соответствуют трем парам дуалистических миропониманий, соответственно снизу вверх: теоретико-полевого, геометрического и реляционного¹⁾.

¹⁾На представленном рисунке верхние отрезки триграмм соответствуют категории пространства-времени, средние отрезки – категории полей переносчиков взаимодействий, а нижние – категории частиц. Под сплошными отрезками в правых триграммах понимается та категория, которая остается прежней, а под двумя прерывистыми отрезками – те две физические категории, которые оказались включенными в новую обобщенную категорию. Согласно этому обозначению, нижняя триграмма соответствует квантовой механике в теоретико-полевом миропонимании, а средняя триграмма – общей теории относительности и многомерным геометрическим моделям типа теории Калуцы в геометрическом миропонимании. В левых триграммах, наоборот, сплошные отрезки изображают ту из первичных категорий, которая отсутствует в дуалистических парадигмах, опирающихся на две обобщенные категории, а прерывистые отрезки соответствуют тем двум обобщенным категориям, которые берут на себя функции отсутствующей категории. Тогда нижняя из триграмм соответствует суперсимметричным (струнным) теориям в рамках теоретико-

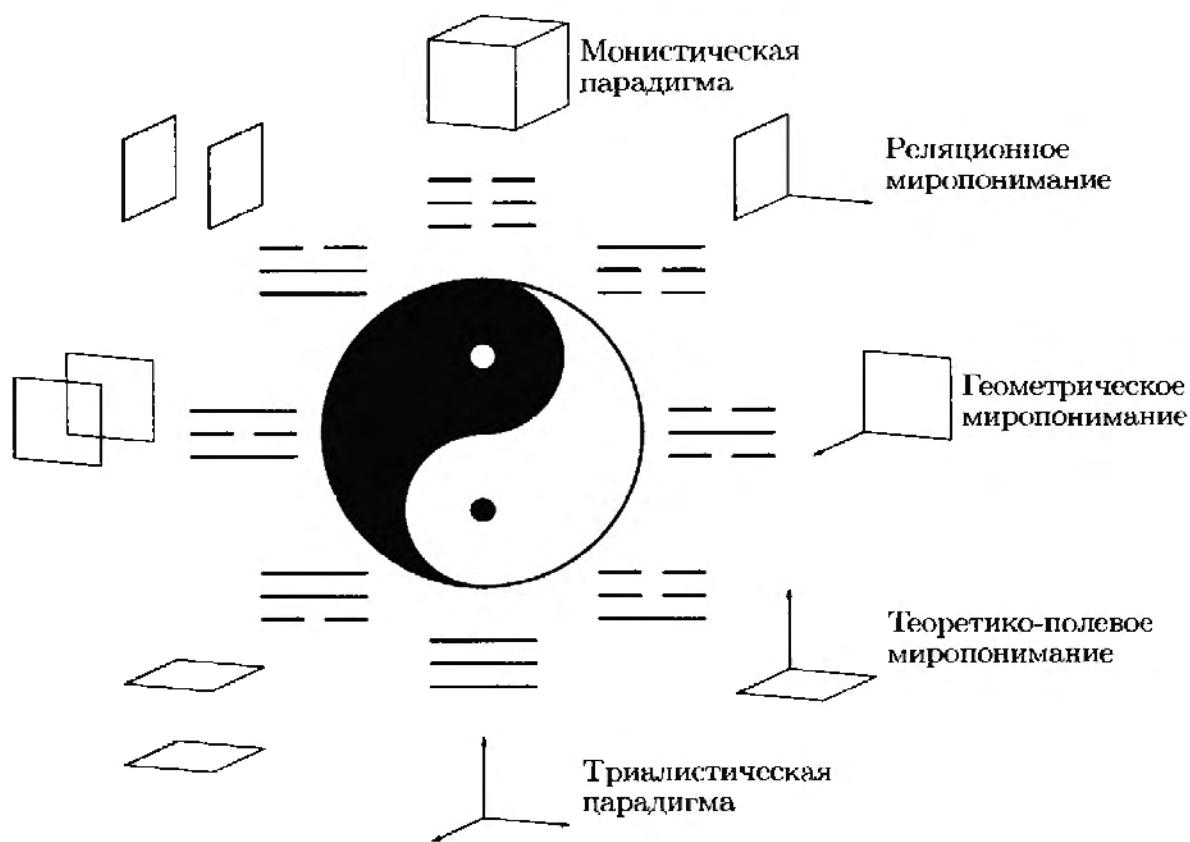


Рис. 3.1. Китайская система триграмм и парадигмы фундаментальной теоретической физики

8. В процессе рассмотрения физических теорий и программ стала очевидной тенденция поиска единой теории в рамках монистической парадигмы. Следовательно, три вида дуалистических миропониманий, представленных в физике XX в., имеют промежуточный характер на пути от теорий триалистической парадигмы начала прошлого века к теории, опирающейся на единую обобщенную категорию (на холистический взгляд на мир). Согласно наглядной интерпретации в виде системы триграмм, содержание первых пяти частей книги можно представить как восхождение в физическом мировосприятии снизу вверх от триалистической до монистической парадигмы.

9. Сосуществование ряда теорий и программ в рамках нескольких метафизических парадигм и стремление совместить понятия и принципы из теорий разных парадигм могут приводить к ложным проблемам парадигмального характера. К их числу относятся попытки, направленные на квантование гравитации (совмещение принципов ОТО и квантового

полового миропонимания, а верхняя из триграмм — теориям прямого межчастичного взаимодействия в рамках реляционного миропонимания. (При этом следует обратить внимания на специальный порядок расположения триграмм, отличающийся от использованного ранее.)

вой теории), на введение законов сохранения энергии-импульса в общей теории относительности и др. Ответ на эти вопросы следует искать на пути перехода к обобщенным категориям более общей метафизической парадигмы, включающей в себя понятия сопрягаемых теорий.

10. Метафизический анализ физических теорий и программ, составивших основное содержание физики прошлого века, заставляет обратить особое внимание на остававшееся в тени реляционное миропонимание, которое опирается на концепцию дальнодействия, альтернативную ныне доминирующей концепции близкодействия. Сейчас, в связи с развитием теории систем отношений, открылись новые возможности для переосмысления актуальных проблем физики и их решения в рамках реляционной парадигмы.

11. Знакомство с проблематикой, разрабатываемой в других разделах науки, показывает, что в них действуют те же самые метафизические принципы, а выделяемые виды парадигм и процессы их смены аналогичны или близки к физическим.

- 1) Так, в математике, где аналогом физического пространства-времени, на котором принято строить физические теории, является понятие непрерывного множества, которое обычно кладется в основание большинства разделов математики. В последнее время все более настойчиво высказываются критические замечания по теории множеств Кантора.
- 2) Аналогичным образом можно классифицировать философско-религиозные учения, заменив три физические категории на соответствующие им три начала: материальное, идеальное и духовное. Имеется существенное различие в эволюции физических теорий последнего столетия и философско-религиозных учений: если эволюция в физике происходила спизу вверх (от триалистической к монистической парадигме), то в развитии философско-религиозных систем можно усмотреть обратную тенденцию сверху вниз (от монизма к самостоятельности отдельных начал).
- 3) Особый интерес представляют философско-религиозные учения, опирающиеся на монистическую парадигму. Таковыми являются классические мировые религии. В русле теоретической физики накоплен немалый опыт соединения, казалось бы, несовместимых друг с другом позиций и закономерностей. Как правило, решение кроется не в подавлении, не в объявлении ошибочности одной из позиций, а в нахождении их общей основы. Возможной платформой, позволяющей облизить религиозные (философско-религиозные) и естественнонаучные представления, является метафизика, закономерности которой в одинаковой степени принадлежат и религии, и науке.

В заключение хотелось бы выразить надежду, что настоящая книга поможет глубже понять истоки целого ряда физических проблем и наметить пути их решения, а достаточно широкий круг затронутых в ней вопросов привлечет внимание философов, способствуя более тесному сотрудничеству представителей различных сфер науки и культуры.

Литература

1. Аристотель Сочинения в 4 томах. М.: Мысль, 1975–1982.
2. Арифов Л. Я. Общая теория относительности и тяготение. Ташкент. Изд-во «ФАН», 1983.
3. Арнольд В. И. Дополнительные главы теории обыкновенных дифференциальных уравнений. М.: Наука, 1978.
4. Арнольд В. И. Математика и физика: родитель и дитя или сестры // Успехи физ. наук, т. 169, № 12, 1999, с. 1311–1323.
5. Бердяев Н. А. Философия творчества, культуры и искусства. Т. I. М.: Искусство, ИЧП «Лига», 1994.
6. Блохинцев Д. И. Принципиальные вопросы квантовой механики. М.: Наука, 1966.
7. Блохинцев Д. И. Пространство и время в микромире. М.: Наука, 1970.
8. Блюменталь Л. М. (Blumenthal L. M.) Theory and application of distance geometry. Oxford, 1953.
9. Боголюбов Н. Н., Ширков Д. В. Введение в теорию квантованных полей. М.: Наука, 1973.
10. Больцман Л. Статьи и речи. М.: Наука, 1970.
11. Бом Д. О возможности интерпретации квантовой теории на основе представления о «скрытых» параметрах // Сб. Вопросы причинности в квантовой механике. М.: Изд-во иностр. лит-ры. 1955, с. 34–64.
12. Борн М. Физика в жизни моего поколения. М.: Изд-во иностр. лит-ры. 1963.
13. Бродьи Л. де (De Broglie L.). Революция в физике. М.: Госатомиздат, 1963.
14. Булгаков С. Н. Сочинения в 2 томах. Т. I. Трагедия философии. М.: Наука, 1993.
15. Булюбаш Е. В. Электродинамика дальнодействия // Физика XIX–XX вв. в общенаучном и социокультурном контекстах. (Физика XIX в.). М.: Наука, 1995, с. 221–250.
16. Бурбаки Н. Очерки по истории математики. М.: Изд-во иностр. лит-ры. 1962.
17. Вайнберг Идейные основы единой теории слабых и электромагнитных взаимодействий. [Нобелевская лекция по физике 1979 г.] // УФН, 1980. Т. 132, с. 201.
18. Вайнберг С. Мечты об окончательной теории: Физика в поисках самых фундаментальных законов природы. М.: Едиториал УРСС, 2004.
19. Вейль Г. Континuum. Математическое мышление. М.: Наука, 1989.

20. Векшенов С. А., Владимиров Ю. С. Об основаниях математики и физики //Альманах «Метафизика. Век XXI». Вып. 1. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006, с. 118–133.
21. Векшенов С. А. Математика и физика пространственно-временного континуума // Сб. Основания физики и геометрии. Вып. 1. М.: Изд-во РУДН, 2008.
22. Вессон П. С. (Wesson P. S) Space-Time-Matter (Modern Kaluza-Klein Theory). Singapore, New Jersey, London, Hong Kong. World Scientific. 1999.
23. Вернадский В. И. Научное мировоззрение //Сб. «На переломе» (Философские дискуссии 20-х гг.). М.: Политиздат, 1990.
24. Винер Н. Творец и робот. М.: Прогресс, 1966.
25. Владимиров Ю. С. Квантовая теория гравитации // «Эйнштейновский сборник 1972». М.: Наука, 1974, с. 280–340.
26. Владимиров Ю. С. Системы отсчета в теории гравитации. М.: Энергоиздат, 1982.
27. Владимиров Ю. С., Мицкевич Н. В., Хорски Я. Пространство, время, гравитация. М.: Наука, 1984.
28. Владимиров Ю. С., Турьгин А. Ю. Теория прямого межчастичного взаимодействия. М.: Энергоатомиздат, 1986.
29. Владимиров Ю. С. Размерность, физического пространства-времени и объединение взаимодействий. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987.
30. Владимиров Ю. С. Пространство-время: явные и скрытые размерности. М.: Наука, 1989.
31. Владимиров Ю. С. Фундаментальная физика, философия и религия. Кострома. Изд-во МИИЦАОСТ, 1996.
32. Владимиров Ю. С. Реляционная теория пространства-времени и взаимодействий. Часть 1. (Теория систем отношений). М.: Изд-во Моск. ун-та., 1996.
33. Владимиров Ю. С. Реляционная теория пространства-времени и взаимодействий. Часть 2. (Теория физических взаимодействий). М.: Изд-во Моск. ун-та., 1998.
34. Владимиров Ю. С. Геометрофизика. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005.
35. Владимиров Ю. С. Заряды частиц в электрослабых взаимодействиях и числа ряда Фибоначчи //Сб. тезисов Междунар. конф. по гравитации, космологии, астрофизике и нестаци. гидродинамике. М.: Изд-во РУДН, 2006, с. 25.
36. Владимиров Ю. С. Основания физики. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008.
37. Волошинов А. В. Пифагор: союз истины, добра и красоты. М.: Просвещение, 1993.
38. Вопенка П. Математика в альтернативной теории множеств. М.: Мир, 1983.
39. Вяльцев А. Н. Дискретное пространство-время. М.: Наука, 1965.
40. Гайденко П. П. История греческой философии в ее связи с наукой. М.: Изд-во «Университетская книга», 2000.
41. Гайденко П. П. История новоевропейской философии в ее связи с наукой. М.: Изд-во «Университетская книга», 2000.

42. Гегель Г. Философия религии. Т. 1, М.: Мысль, 1976.
43. Гейзенберг В. Физика и философия. Часть и целое. М.: Наука, 1989.
44. Гейзенберг В. Развитие понятий в физике XX столетия //Вопросы философии, №. 1, 1975, с. 79–88.
45. Гильберт Д., Бернаис П. Основания математики. М.: Наука. Т. 1, 1979.
46. Горелик Г. Е. Почему пространство трехмерно? М.: Наука, 1982.
47. Готтфрид К., Вайскопф В. Концепции физики элементарных частиц. М.: Мир, 1988.
48. Грановский Я. И., Пантишин А. А. К релятивистской теории тяготения //Изв. АН Каз. ССР, сер. физ.-мат., 1965, № 2, с. 65–69.
49. Гриб А. А. Диспут о филиокве и раскол Запад-Восток //Сб. «Христианство и наука» (Рождественские чтения-2001). М.: Просветитель, 2001, с. 111–152.
50. Гриб А. А. Проблема неинвариантности вакуума в квантовой теории поля. М.: Атомиздат, 1978.
51. Грин Б. Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории. М.: Едиториал УРСС, 2004.
52. Грин Х. Матричная квантовая механика. М.: Мир, 1968.
53. Дайсон Ф. S-матрица в квантовой электродинамике //Сб. «Новейшее развитие квантовой электродинамики». М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1954.
54. Данциг ван Д. (Van Dantzig D.) On the relation between geometry and physics and the concept of space-time //Funfzig Jahre Relativitätstheorie. Konferenz Bern, Basel. 1955. Bd.1, S. 569.
55. Дирак П. А. М. Принципы квантовой механики. М.: Физматгиз, 1960.
56. Дирак П. А. М. Эволюция физических представлений о природе //«Техника молодежи», №.2, 1964, с. 24.
57. Дирак П. А. М. //«Природа», №.3, 1972, с. 69.
58. Дэвис П. (Davies P. C. W.) A quantum theory of Wheeler- Feynman electrodynamics //Proc. Cambridge Philos. Soc., 1970, vol. 68, p. 751–764.
59. Дэвис П. (Davies P. C. W) The Physics of time assymetry. Berkely – Los Angeles: Univ. of California Press, 1974, 214 р.
60. Евсюков В. В. Мифы о Вселенной. Новосибирск: Наука, 1988.
61. Еремеев В. Е. Символы и числа «Книги перемен». М.: ACM, 2002.
62. Ефремов А. П. Кватернионные пространства, системы отсчета и поля. М.: Изд-во РУДН, 2005.
63. Захаров В. Д. Гравитационные волны в теории тяготения Эйнштейна. М.: Наука, 1972.
64. Захаров В. Д. Метафизика в науках о природе //Вопросы философии, №. 3, 1999, с. 97–111.
65. Захаров В. Д. Естественнонаучная апологетика //Сб. «Христианство и наука» (Рождественские чтения-2001). М.: Просветитель, 2001, с. 197–225.
66. Захаров В. Д. Введение в метафизику природы. М.: Изд-во Моск. гос. ун-та печати, 2003.
67. Захаров В. Д. Физика как философия природы. М.: Едиториал УРСС, 2004.
68. Зелиг К. Альберт Эйнштейн. М.: Мир, 1964.
69. Зеньковский В. Основы христианской философии. М.: 1992.

70. Иваненко Д. Д., Соколов А. А. Классическая теория поля. М.-Л.: Гос. изд-во тех.-теор. лит. 1951.
71. Иваненко Д. Д. Вступительная статья // Сб. «Нелинейная квантовая теория поля». М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1959.
72. Иваненко Д. Д. Гравитация и возможности единой трактовки материи // Сб. «Философские проблемы теории тяготения Эйнштейна и релятивистской космологии». Киев. Изд-во «Наукова думка», 1964, с. 27–28.
73. Иванов А. В., Миронов В. В. Университетские лекции по метафизике. М.: «Современные тетради», 2004.
74. Иванов А. В. Метафизика как сердце философии / Альманах «Метафизика. Век XXI». Вып. 2. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007, с. 41–52.
75. Кадышевский В. Г. К вопросу о спектре масс и фундаментальной длине в теории поля // ДАН СССР, 1960, т. 131, № 6, с. 1305.
76. Каллош Р. Э. Предисловие к сб. «Введение в супергравитацию». М.: Мир, 1985.
77. Калуза Т. (Kaluza T.). К проблеме единства физики // Сб. «Альберт Эйнштейн и теория гравитации». М.: Мир, 1979, с. 529–534.
78. Кант И. Пролегомены ко всякой будущей метафизике, могущей возникнуть в качестве науки. М.: Соцэкиз, 1937.
79. Кассандров В. В. Алгебраическая структура пространства-времени и алгебродинамика. М.: Изд-во РУДН, 1992.
80. Катасонов В. Н. Метафизическая математика XVII в. М.: Наука, 1993.
81. Катасонов В. Н. Интеллектуализм и волюнтаризм: религиозно-философский горизонт науки нового времени // Сб. «Философско-религиозные истоки науки». М.: Изд-во «Мартис», 1997, с. 142–177.
82. Клейн О. (Klein O.) Quantentheorie und funfdimensionale Relativitätstheorie // Zeits. f. Physik, 1926, Bd. 37, S. 895.
83. Клини С. К. Введение в метаматематику. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1957.
84. Клиффорд В. О пространственной теории материи // Сб. «Альберт Эйнштейн и теория гравитации». М.: Мир, 1979, с. 36–37.
85. Клиффорд В. Здравый смысл точных наук. 1922. (См. Сб. «Альберт Эйнштейн и теория гравитации». М.: Мир, 1979, с. 38–47.)
86. Кокарев С. С. Geometrization of perfect fluid in 5-D Kaluza-Klein theory // Gravitation and Cosmology. Vol. 1 (1995), N. 3, p. 247–251.
87. Колмогоров А. Н. Бесконечность // Математическая энциклопедия. М.: 1977.
88. Кузанский Н. Сочинения в 2 томах. Т. 1. М.: 1979.
89. Кузнецов Б. Г. Развитие физических идей от Галилея до Эйнштейна в свете современной науки. М.: Изд-во АН СССР, 1963.
90. Кулаков Ю. И. Элементы теории физических структур (Дополнение Г. Г. Михайличенко). Новосибирск. Изд-во Новосиб. гос. ун-та, 1968.
91. Кулаков Ю. И., Владимиров Ю. С., Карнаухов А. В. Введение в теорию физических структур и бинарную геометрофизику. М.: Изд-во Архимед, 1991.
92. Кулаков Ю. И. Теория физических структур. М.: 2004.
93. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. М.: Наука, 1973.
94. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика. М.: Наука, 1963.

95. *Лауз М.* История физики. М.: Гостехиздат, 1956.
96. *Лев В. Х.* Трехмерные геометрии в теории физических структур //Вычислительные системы. № 125. Новосибирск. Изд-во Института математики СО АН СССР, 1988, с. 90–103.
97. *Лейбниц Г. В.* Сочинения в четырех томах. Том 1. М.: Мысль, 1982.
98. *Ленин В. И.* Материализм и эмпириокритицизм // Собр. соч. 4 изд. Т. 14.
99. *Ливанова А.* Три судьбы. Постижение мира. М.: Знание, 1969.
100. *Логунов А. А.* Лекции по теории относительности и гравитации. М.: Наука, 1987.
101. *Ломоносов М. В.* Полное собрание сочинений. Т. 1, 2. М-Л.: Изд-во АН СССР, 1950–1951.
102. *Лосский В. Н.* Очерк мистического богословия Восточной Церкви. Догматическое богословие. М.: Центр «СЭИ», 1991.
103. *Лъюцци М.* История физики. М.: Мир, 1970.
104. *Марков М. А.* Избранные труды. Т. 1. М.: Наука, 2000.
105. *Мах Э.* Познание и заблуждение. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003.
106. *Мах Э.* Механика. Историко-критический очерк ее развития. Ижевск. Ижевск. республ. типогр., 2000.
107. *Менский М. Б.* Квантовые измерения и декогенерация. М.: Физматлит, 2001.
108. *Мень А.* История религии (В поисках пути, истины и жизни). Т. 1. М.: Изд-во Сов.-Брит. совм. предприятия «Слово», 1991.
109. *Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж.* Гравитация. Т. 3. М.: Мир, 1977.
110. *Миронов В. В.* Становление и смысл философии как метафизики /Альманах «Метафизика. Век XXI». Вып. 2. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007, с. 18–40.
111. *Минковский Г.* Пространство и время //Сб. «Принцип относительности». М.: Атомиздат, 1973.
112. *Мостепаненко А. М., Мостепаненко М. В.* Четырехмерность пространства и времени. М.; Л.: Наука, 1966.
113. *Нарликар Дж. В.* (Narlikar J. V.). Инерция и космология в теории относительности Эйнштейна //Сб. «Астрофизика, кванты и теория относительности». М.: Мир, 1982, с. 498–534.
114. *Г. Г. Михайличенко* «Математический аппарат теории физических структур». Горно-Алтайск: Изд-во Горно-Алтайского ун-та, 1997;
115. *Г. Г. Михайличенко* «Полиметрические геометрии». Новосибирск: Изд-во Новосибирского ун-та. 2001.
116. *Ньютона И.* Математические начала натуральной философии. //В собр. соч. акад. А. Н. Крылова. М.-Л. Изд-во АН СССР, 1936.
117. *Огурцов А. П.* Судьба метафизики в век физики /Альманах «Метафизика. Век XXI», Вып. 1. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. с. 20–44.
118. *Окунь Л. Б.* Лептоны и кварки. М.: Наука, 1990.
119. *Окунь Л. Б.* Физика элементарных частиц. М.: Наука, 1988.
120. *Очинский В. В.* Золотая пропорция: суждения и опыт. Ставрополь: Изд-во ЮРКИТ, 2003.

121. Павлов Д. Г. Число и геометрия пространства-времени // Альманах «Метафизика. Век XXI». Вып. 1. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006, с. 159–171.
122. Павлов Д. Г. Метафизика симметрий // Альманах «Метафизика. Век XXI». Вып. 2. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007, с. 267–283.
123. Павшич M. (Pavsic M.) Unified theory of gravitation and electromagnetism, based on conformal group $SO_{4,2}$ // Nuovo Cim., 1977, vol. 41B, N. 2, p. 397–427.
124. Паули В. Физические очерки. М.: Наука, 1975.
125. Пенроуз R. (Penrose R.). Структура пространства-времени. М.: Мир, 1972.
126. Пенроуз R., Риндлер В. (Penrose R., Rindler V.) Спиноры и пространство-время. М.: Мир, 1987.
127. Пенроуз R. Путь к реальности или законы, управляющие Вселенной. М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2007.
128. Петкевич В. В. Теоретическая механика. М.: Наука, 1981.
129. Петров А. З. Современное состояние развития теории гравитационного поля // Сб. «Философские проблемы теории тяготения Эйнштейна и релятивистской космологии». Киев. Изд-во «Наукова думка», 1964, с. 2–26.
130. Петухов С. В. Метафизические аспекты матричного анализа генетического кодирования и золотое сечение // Альманах «Метафизика. Век XXI». Вып. 1. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2006, с. 216–250.
131. Пименов Р. И. Пространства кинематического типа (Математическая теория пространства-времени). Л.: Наука, 1968.
132. Пирагас К. А., Жданов В. И., Александров А. Н., Пирагас Л. Е. Качественные и аналитические методы в релятивистской динамике. М.: Энергоатомиздат, 1995.
133. Планк М. Единство физической картины мира. М.: Наука, 1965.
134. Пуанкаре А. О динамике электрона // Сб. «Принцип относительности». М.: Атомиздат, 1973.
135. Пуанкаре А. О науке. М.: Наука, 1983.
136. Пытьев Ю. П. Пятимерная релятивистская схема // Вестник Моск. ун-та. Сер. физ. и астрон. 1966, № 2, с. 102–108; 1966, № 5, с. 70–80; 1967, № 1, с. 73–81.
137. Раушенбах Б. В. Пристрастие. М.: Изд-во «Аграф», 2000.
138. Раушенбах Б. В. Пусть спорят знатоки // Сб. «Христианство и наука» (Рождественские чтения-2001). М.: Просветитель, 2001, с. 153–170.
139. Ращевский П. К. Риманова геометрия и тензорный анализ. М.: Наука, 1967.
140. Ращевский П. К. О догмате натурального ряда // Успехи матем. наук. 1973. Т. XXVIII, вып. 4 (172), с. 243–246.
141. Рвачев В. Л. Релятивистский взгляд на развитие конструктивных средств математики. Харьков. Препринт инст. проблем машиностроения АН УССР, 1990.
142. Родичев В. И. Пространство с кручением и нелинейные уравнения поля // ЖЭТФ, 1961, т. 40, вып. 5, с. 1469–1472.
143. Риман Б. О гипотезах, лежащих в основании геометрии // Сб. «Альберт Эйнштейн и теория гравитации». М.: Мир, 1979, с. 18–33.

144. Риман Б. Фрагменты философского содержания. Натурфилософия //Сочинения. М.-Л.: Гостехиздат, 1948.
145. Румер Ю. Б. Спинорный анализ. М.-Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1936.
146. Румер Ю. Б. Исследования по 5-оптике. М.: ГИТТЛ, 1956.
147. Румер Ю. Б. Принципы сохранения и свойства пространства и времени //Сб. Пространство, время, движение. М.: Наука, 1971, с. 107–125.
148. Рязанов Г. В. Путь к новым смыслам. М.: Гнозис, 1993.
149. Салам А., Стрэди Дж. (Salam A., Strathdee J.) On Kaluza-Klein theory //Ann. of Phys., 1982, v. 141, p. 316–352.
150. Сахаров А. Д. Научные труды. М.: АОЗТ «Изд-во ЦентрКом», 1995.
151. Синг Дж. Л. Общая теория относительности. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1963.
152. Скляров А. Ю. Цивилизация древних богов Египта. М.: Изд-во «Вече», 2005.
153. Скоробогатько В. Я., Фешин Г. Н., Пелых В. А. N-Точечная геометрия типа Евклида //Сб. Математические методы и физико-механические поля. Киев. Наукова думка, 1975. Вып. 1, с. 5–10.
154. Соловьев А. В., Владимиров Ю. С. (Solov'yov A. V., Vladimirov Yu. S.) Finslerian N-spinors: Algebra //Internat. Journal of Theor. Phys. 2001. Vol. 40, N. 8, p. 1511–1523.
155. Соловьев В. С. Сочинения в 2 томах. Т. 2. М.: Изд-во «Правда», 1989.
156. Сонин А. С. Советские физико-философские дискуссии начала 30-х гг. //Сб. «Исследования по истории физики и механики» 2006. М.: Наука, 2007, с. 264–290.
157. Станюкович К. П., Мельников В. Н. Гидродинамика, поля и константы в теории гравитации. М.: Энергоатомиздат, 1983.
158. Стахов А. П. Новая математика для живой природы. Винница-Москва: Изд-во «Кириллица», 2003.
159. Стахов А. П. Золотое сечение, священная геометрия и математика гармонии //Альманах «Метафизика. Век XXI». Вып. 1. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006, с. 174–215.
160. Степин В. С. Философия и универсалии культуры. СПб.: Изд-во С.-Петербург. гуманит. ун-та профсоюзов, 2000.
161. Суркова Л. В., Яковлев В. А. Метафизика в Ватикане //Альманах «Метафизика. Век XXI». Вып. 2. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2007, с. 142–149.
162. Табрум А. Г. Религиозные верования современных ученых. М.: Книгоиздательство «Творческая мысль», 1912.
163. Твисторы и калибровочные поля. М.: Мир, 1983.
164. Уилер Дж. А., Фейнман Р. (Wheeler J. A., Feynman R. P.) Interaction with the absorber as the mechanism of radiation //Rev.Mod.Phys., 1945, vol. 17, p. 157–181.
165. Уилер Дж. Гравитация, нейтрино и Вселенная. М.: Изд-во. иностр. лит-ры, 1962.
166. Утияма Р. К чему пришла физика. М.: Знание, 1986.
167. Уэст П. Введение в суперсимметрию и супергравитацию. М.: Мир, 1989.

168. Фейнман Р. Пространственно-временной подход к нерелятивистской квантовой механике // Сб. Вопросы причинности в квантовой механике. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1955, с. 167–207.
169. Фейнман Р. (Feynman R.) Нобелевская лекция «Разработка квантовой электродинамики в пространственно-временном аспекте» // Сб. «Характер физических законов». М.: Мир, 1968, с. 193–231.
170. Фейнман Р., Хубс А. Квантовая механика и интегралы по траекториям. М.: Мир, 1968.
171. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 3. (Излучение, волны, кванты). М.: Мир, 1965.
172. Философия естествознания. М.: Изд-во полит. лит-ры, 1966.
173. Фок В. А. (Fock V.) Zur Schrödingerishen Wellenmechanik // Zeits. für Phys., 1926, Bd. 38, N. 3, S. 242–250.
174. Фок В. А. Квантовая физика и философские проблемы // Сб. «Физическая наука и философия». М.: Наука, 1973, с. 55–77.
175. Фок В. А. Об основных принципах теории тяготения Эйнштейна // Сб. «Современные проблемы гравитации». Тбилиси. Изд-во Тбил. гос. ун-та, 1967, с. 5–11.
176. Фок В. А. Начала квантовой механики. М.: Наука, 1976.
177. Фок В. А. Квантовая физика и строение материи. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1965.
178. Франк С. Л. Философия и религия // Сб. «На переломе» (Философские дискуссии 20-х гг.). М.: Изд-во полит. лит-ры, 1990.
179. Френкель Я. И. Мистика мирового эфира // Сб. «На заре новой физики». Ленинград. Наука, 1970.
180. Френкель Я. И. // Природа электрического тока. (Беседы-диспут в Ленинградском политехническом институте). М.-Л.: Изд-во Всесоюзн. электротехн. общ-ва, 1930.
181. Френкель Я. И. Принцип причинности и полевая теория материи // Сб. Вопросы теоретической физики. СПб.: ПИЯФ, 1994, с. 132–154.
182. Фридман Д. З., Ньюенхайзен П. Скрытые измерения пространства-времени // В мире науки, N. 5, 1985, с. 30.
183. Фролов Б. Н. Пуанкаре-калибровочная теория гравитации. М.: Изд-во Моск. пед. гос. ун-та, 2003.
184. Харитонов А. С. «Золотая пропорция» как критерий универсального равновесия и оптимальной связности частей в целое // Альманах «Метафизика. Век XXI». Вып. I. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006.
185. Хэлльсон О. Д. Физика и ее значение для человечества. Берлин. Гос. изд-во РСФСР, 1923.
186. Хэлльсон О. Д. Курс физики. Т. 1. Л.-М.: ГГТИ, 1933.
187. Хёльт Г. К истории принципа Маха // «Эйнштейновский сборник-1968». М.: Наука, 1968, с. 258–285.
188. Хоул Ф., Нарликар Дж. (Hoyle F, Narlikar J. V.). Action at a distance in physics and cosmology. San Francisco: W. N. Freeman and Comp., 1974.
189. Хуанг К. (Huang K.). Кварки, лептоны и калибровочные поля. М.: Мир, 1985.
190. Циммерман Е. Дж. (Zimmerman E. J.) The macroscopic nature of space-time // Amer. J. Philos., 1962, vol. 30, p. 97–105.

191. Черепашук А. М., Чернин А. Д. Вселенная, жизнь, черные дыры. Фрязино: Изд-во «Век-2», 2003.
192. Чью Дж. Аналитическая теория S-матрицы. М.: Мир, 1968.
193. Чью Дж. (Chew G. F.) The dubious role of the space-time continuum in microscopic physics //Science Progress. 1963/ Vol. LI, No. 204, p. 529–539.
194. Шевелев И. Ш. Формообразование (Число. Форма. Искусство, Жизнь). Кострома: Изд-во «ДиАр», 1995; Метаязык живой природы. М.: Воскресенье, 2000.
195. Шелминг Ф. В. Философия искусства. М.: Мысль, 1966.
196. Широков М. Ф. Тяготение и инерция, как формы существования материи //Сб. «Философские проблемы теории тяготения Эйнштейна и релятивистской космологии». Киев. Изд-во «Наукова думка», 1964, с. 29–35.
197. Шноль С. Э. Космофизическая природа «идей формы» гистограмм, построенных по результатам измерений процессов разной природы //Альманах «Метафизика. Век XXI». Вып. 2. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007, с. 284–319.
198. Шредингер Э. Природа и греки. Москва-Ижевск. Изд-во НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.
199. Щедровицкий Г. П. Философия. Наука. Методология. М.: Изд-во «Шк. Культ. Политики», 1997.
200. Эддингтон А. (Eddington A. S.) Fundamental theory. N. Y.: Cambridge Press, 1946.
201. Эйнштейн А., Гроссман М. Проект обобщенной теории относительности и теории тяготения //Собр. науч. трудов. Т. 1. М.: Наука, 1965, с. 227–266.
202. Эйнштейн А. Принципиальное содержание общей теории относительности //Собр. науч. трудов. Т. 1. М.: Наука, 1965, с. 613–615.
203. Эйнштейн А., Майер В. Единая теория гравитации и электричества //Собр. науч. трудов. Т. 2. М.: Наука, 1966, с. 366–386.
204. Эйнштейн А., Бергман П. Обобщение теории электричества Калуцы //Собр. науч. трудов. Т. 2. М.: Наука, 1966, с. 492–513.
205. Эйнштейн А. Относительность и проблема пространства //Собр. науч. трудов. Т. 2. М.: Наука, 1966, с. 744–759.
206. Эйнштейн А. Физика и реальность. М.: Наука, 1965.
207. Эйнштейн А. Замечание о квантовой теории //Собр. науч. трудов. Т. 3. М.: Наука, 1966, с. 528–530; с. 623–626.
208. Эйнштейн А. Эрнст Мах //Собр. науч. трудов. Т. 4. М.: Наука, 1967, с. 27–32.
209. Эйнштейн А. Религия и наука //Собр. науч. трудов. Т. 4. М.: Наука, 1967, с. 126–129.
210. Эйнштейн А. Автобиографические заметки //Собр. науч. трудов. Т. 4. М.: Наука, 1967, с. 259–294.
211. Энциклопедический словарь. М.: Гос.научн. изд-во «Большая советская энциклопедия», 1955.
212. Юкава Х. Лекции по физике. М.: Энергоиздат, 1981.
213. Юнг К. Г. Ответ Иову. М.: Изд-во «Канон», 1995.

Именной указатель

- Августин А. (354–430) 509
Авогадро А. (1776–1856) 135
Адлер С. Л. 348
Александров А. Д. (1912–1999) 84
Анаксагор (500–428 гг. до н. э.) 42
Анаксимандр (ок. 610–546 до н. э.) 40
Анаксимен (VI в. до н. э.) 41
Аристотель (384–322 гг. до н. э.) 34, 37,
43, 45, 83, 168, 199, 333, 335,
354, 437, 506, 539
Арнольд В. И. (р. 1937) 93, 498, 499
- Баргман В. 300
Беккерель А. А. (1852–1908) 107, 200
Бельтрами Э. (1835–1900) 240
Бергман П. (1915–2002) 277, 296, 300,
302, 339
Бердяев Н. А. (1874–1948) 507
Блохинцев Д. И. (1908–1979) 161, 173,
506
Блюменталь К. М. 356
Боголюбов Н. Н. (1909–1992) 534
Богослов Г. (329–389) 542
Бойль Р. (1627–1691) 63
Больцман Л. (1844–1906) 135
Бом Д. Д. (р. 1917) 138, 162
Бор Н. (1885–1962) 23, 73, 148, 159,
177, 488, 489, 506, 533
Борн М. (1882–1970) 10, 159, 170, 208
Бонкович Р. И. (1711–1787) 20, 61
- Бояи Фаркаш (1775–1856) 236
Бояи Яноши (1802–1860) 237, 377
Брагинский В. Б. (р. 1931) 255, 276
Бранс К. 280, 302
Бройль Л., де (1892–1987) 149, 151,
158, 209, 299, 422
Бруно Дж. (1548–1600) 48, 50
Брюсов В. Я. (1873–1924) 335
Булгаков С. Н. (1871–1944) 508, 511,
549
Бурбаки Н. 91, 498
- Вайнберг С. (р. 1915) 39, 108, 218, 219,
223, 225, 345, 505
Вайскопф В. (1908–2002) 157, 191
Валлис (1616–1703) 236
Варден Б., ван дер (1903–1996) 33
Вахтер Ф. Л. (1792–1818) 239
Вебер В. (1804–1891) 243, 376
Вебер Дж. (1919–2000) 275
Веблен О. (1880–1960) 300
Вейль Г. (1885–1955) 277, 306, 500, 530
Векшнов С. А. 502
Вернадский В. И. (1863–1945) 549
Вессон П. 338
Вигнер Ю. П. (1902–1963) 505
Вижье Ж. 139
Винер Н. (1894–1964) 528
Винчи Леонардо, да (1452–1519) 50
Виттен Е. 219, 343

- Вопенка П. 498
Вы Ц. 192
- Гайденко П. П. (р. 1934) 25, 83, 509, 520, 521, 548
Галилей Г. (1564–1642) 36, 50, 51, 159, 253, 255, 506, 521, 547
Гамов Г. А. (1904–1968) 18, 299, 382, 392
Гаусс К. (1777–1855) 226, 228, 238–241, 259, 289, 376
Гегель Г. (1770–1831) 507, 536
Гейзенберг В. (1901–1976) 34, 36, 39, 41, 44, 81, 108, 136, 140, 149, 157, 177, 180, 200, 203, 210, 347, 410, 488, 506, 516
Гелл-Манн М. (р. 1929) 107, 109, 425
Гераклит (540–480 гг. до н. э.) 41
Герц Г. (1857–1894) 100
Гете И. В. (1749–1832) 67
Гильберт Д. (1862–1943) 84, 167, 257, 501
Глэшоу Ш. Л. (р. 1932) 108, 225, 227, 229
Гордон В. (1893–1939) 150
Готтфрид К. 157, 191
Гофман Б. 300
Грановский Я. И. 394
Грассман Г. (1809–1877) 288, 294
Гриб А. А. 211, 541, 545, 547
Грин Б. 219, 222, 224, 227, 229, 344, 345, 370, 373
Грин Х. 169
Гроссман М. (1878–1936) 257
Гюйгенс Х. (1629–1696) 52, 57, 59, 67, 68, 123, 411
Дайсон Ф. (р. 1923) 212, 426
Даламбер Ж. Б. (1717–1783) 9, 62, 115, 287
Данциг Л., ван (1900–1959) 300, 471, 479
Дафф М. 342
Девитт Б. 163
Дезэр С. 342
Декарт Р. (1596–1650) 20, 52, 67, 68, 232, 327, 503, 506, 521, 529
- Демокрит (460–380 гг. до н. э.) 40, 42, 180, 506
Державин Г. Р. (1743–1816) 535, 540
Дикке Р. (р. 1916) 255, 280, 302
Дирак П. А. М. (1902–1984) 72, 139, 150, 151, 154, 163, 167, 392, 414, 423, 491, 533
Дэвис П. 419
Дюгем П. 551
- Евдокс (ок. 408–355 гг. до н. э.) 37
Евклид (III в. до н. э.) 37, 83, 234
Еремеев В. Е. 28
Ефремов А. П. (р. 1945) 303
Жданов В. И. 395
Жуковский Н. Е. (1847–1921) 74
Захаров В. Д. (р. 1938) 13, 61, 116, 276, 515, 518
Зелиг К. 73
Зельманов А. Л. (1913–1987) 142, 143, 263
Зенкин А. А. (1937–2006) 502
Зенон (V в. до н. э.) 37
Зеньковский В. В. (1881–1962) 516
Зоммерфельд А. И. В. (1868–1951) 149
Зумино В. 342
- Иваненко Д. Д. (1904–1994) 108, 136, 183, 209, 284, 299, 525, 534
Иваницкая О. С. (1914–1986) 263
Иванов А. В. 13, 14
Ингрэхем Р. Л. 302
Инфельд Л. (1898–1968) 208
Иоффе А. Ф. (1880–1960) 95, 382
Йордан П. (1902–1980) 170, 280, 301
- Кадышевский В. Г. (р. 1937) 302
Каличин Н. 302
Каллюш Р. Э. 342
Калута Т. (1885–1954) 19, 23, 287, 290, 306, 324, 496
Кант И. (1724–1804) 9, 64, 232, 287, 293, 294, 507, 517, 535
Кантор Г. (1845–1918) 498, 499, 502, 553

- Картан Э. (1869–1951) 157, 278
 Катасонов В. Н. 509, 515
 Кениг С. (1712–1757) 62, 123
 Кеплер И. (1571–1630) 50, 120, 529
 Кларк С. 54, 355, 520
 Клаузиус Р. (1822–1888) 135
 Клейн О. (1894–1977) 19, 23, 150, 151, 298, 496
 Клини С. К. 11, 93
 Клиффорд В. (1845–1879) 234, 244, 274, 327
 Колмогоров А. Н. (1903–1987) 500
 Комптон А. Х. (1892–1962) 149
 Коперник Н. (1473–1543) 48, 159
 Креммер Т. 343
 Кристоффель Э. Б. (1829–1900) 261
 Кузанский Н. (1401–1464) 48, 159, 510
 Кузнецов Б. Г. (р. 1903) 74
 Кулаков Ю. И. (р. 1927) 39, 117, 118, 353, 366, 371, 428, 434
 Кулон Ш. О. (1736–1806) 103
 Кэли А. (1821–1885) 288
 Лагранж Ж. Л. (1736–1813) 62, 121, 287, 294
 Ламберт Дж. Х. (1728–1777) 236
 Ландau Л. Д. (1908–1968) 120, 123, 425
 Лао-Цзы (VI–V в. до н. э.) 26
 Лаплас П. С. (1749–1827) 517
 Лауэ М. (1879–1960) 115, 122, 158
 Лебедев П. Н. (1866–1912) 74
 Лев В. Х. 366, 367, 431
 Левкипп (5 в. до н. э.) 42
 Лежандр А. М. (1752–1833) 236
 Лейбниц Г. В. (1646–1716) 9, 34, 52, 54, 59, 67, 82, 228, 230, 354, 355, 370, 506, 515, 529, 535
 Ленин В. И. (1870–1924) 250, 372, 524
 Ли Ц. 180, 184, 192, 203
 Лифшиц Е. М. (1915–1985) 120, 123
 Лихнерович А. 302
 Лобачевский Н. И. (1792–1856) 238, 239, 377
 Логунов А. А. (р. 1926) 104, 539
 Ломоносов М. В. (1711–1765) 64, 135, 530
 Лоренц Л. В. (1829–1891) 376
 Лоренц Х. А. (1853–1928) 72
 Лосский В. Н. (1903–1958) 513, 542, 546
 Лъюци М. 123
 Максвелл Дж. (1831–1879) 72, 98, 135, 378
 Мандель Г. А. 298, 307
 Манин Ю. И. (р. 1937) 309
 Марков М. А. (1908–1994) 140, 330, 333, 506
 Маршак Р. (р. 1916) 107
 Мах Э. (1838–1916) 12, 18, 59, 75, 82, 87, 116, 135, 228, 230, 234, 246–248, 270, 288, 290, 294, 303, 354, 391, 442, 504, 506, 522, 551
 Мельников В. Н. (р. 1941) 208, 392
 Менделеев Д. И. (1834–1907) 136
 Менский М. Б. (р. 1939) 472, 473
 Мень А. (1935–1990) 532, 534
 Ми Г. (1868–1957) 207
 Мизнер Ч. 330, 450
 Миллс Р. Л. 184, 218, 309
 Минковский Г. (1864–1909) 71
 Миронов В. В. (р. 1953) 13
 Миткевич В. Ф. (1872–1951) 95, 381, 524
 Михайличенко Г. Г. (р. 1942) 366, 367, 430
 Мицкевич Н. В. (р. 1931) 199, 263
 Мозли Г. (1887–1915) 136
 Мопертюи П. Л. М. (1698–1759) 62, 123
 Морозов Н. А. (1854–1946) 534
 Нарликар Дж. В. 82, 391, 392
 Насирэддин (1201–1274) 236
 Нейман К. Г. (1832–1925) 376, 377
 Нейман Ф. Э. (1798–1895) 376
 Нордстрем Г. (1881–1923) 289, 290
 Ньюенхайзен П., ван 342
 Ньютон И. (1643–1727) 9, 41, 52, 57, 67, 68, 255, 354, 506, 520, 529, 551

- Огиевецкий В. И. 342
 Огурцов А. П. 13
 Остwald В. Ф. (1853–1932) 135
 Очинский В. В. 120
 Павлов Д. Г. (р. 1970) 35, 279
 Павлич М. 302
 Пантишин А. А. 394
 Парменид (кон. VI в. до н. э.) 41
 Пастер Луи (1822–1895) 193
 Паули В. (1900–1958) 24, 137, 162, 173,
 177, 300, 517, 532
 Пачиоли Лука (1445–1517) 120
 Пенроуз Р. (р. 1931) 215, 220, 221, 231,
 345, 445, 472
 Петкевич В. В. (1911–1992) 124
 Петров А. З. (1910–1972) 282, 284, 525
 Петухов С. В. 120
 Пименов (1931–1990) 87
 Пирагас К. А. (р. 1938) 395
 Пифагор (IV в. до н. э.) 33, 36, 42, 43,
 509
 Планк М. (1858–1947) 158, 482
 Иллатон (427–347 гг. до н. э.) 33, 37, 42,
 43, 83, 180, 203, 335, 434, 506,
 509
 Подоланский И. 302
 Посидоний (I в. до н. э.) 236
 Пригожин И. Р. (1917–2003) 534
 Прокл (410–485) 236
 Птолемей (II в. н. э.) 236
 Пуанкаре А. (1854–1912) 72, 83, 86,
 115, 234, 251, 257, 262, 379,
 482
 Пытьев Ю. П. (р. 1935) 302
 Райнич Г. 331
 Рамзай В. 530
 Рассел Б. А. У. (1872–1970) 10
 Раушенбах Б. В. (1915–2001) 50, 543
 Рашевский Н. К. (1907–1985) 87, 89,
 471, 479
 Рвачев В. Л. (р. 1926) 88
 Резерфорд Э. (1871–1937) 74, 108, 136
 Рентген В. К. (1845–1923) 73
 Риман Б. (1826–1866) 294, 376, 377, 479
 Робб А. 84
- Родичев В. И. (1914–1984) 263, 302,
 307
 Розен Н. 280
 Румер Ю. Б. (1901–1985) 289, 306, 307,
 339, 497
 Рэлей Дж. У. (1842–1919) 530
 Саккери (1667–1733) 236
 Салам А. (1926–1996) 108, 342
 Сахаров А. Д. (1921–1989) 280, 349,
 402, 506
 Свифт Дж. (1667–1745) 336
 Синг Дж. (р. 1897) 258, 365
 Скляров А. Ю. 35
 Скоробогатько В. Я. (1927–1996) 85,
 395
 Соловьев В. С. (1853–1900) 503, 525,
 549
 Сонин А. С. 382, 524
 Станюкович К. П. (1916–1989) 208,
 392
 Стахов А. П. 120
 Степин В. С. (р. 1934) 507
 Сударшан Э. (р. 1931) 107
 Сурьо И. 302
 Схоутен Я. А. (1883–1971) 279, 300
 Табрум А. Г. 530
 Тамм И. Е. (1895–1971) 371, 382, 524
 Таурина Ф. (1794–1874) 239
 Теразава Х. 349
 Терлещкий Я. П. (1912–1993) 139, 208
 Тетроде Г. 380
 Тилли М., де (1837–1906) 239, 370
 Тирри И. 280
 Томсон Д. П. (1892–1975) 149
 Тоннеля М. А. (1912–1980) 302
 Торп К. 450
 Уилер Дж. А. (1911–2008) 34, 141, 211,
 330, 341, 348, 387, 410, 450,
 479, 481
 Умов Н. А. (1846–1915) 74
 Утияма Р. 301
 Уэст П. 222, 229, 345, 402
 Фалес (VI в. до н. э.) 40

- Фарадей М. (1791–1867) 18, 72, 98, 378, 530
 Фейнман Р. (1918–1988) 19, 107, 124, 126, 141, 159, 192, 228, 387, 409, 410, 412, 418, 476
 Ферма П. (1608–1665) 123
 Ферми Э. (1901–1954) 107, 475
 Феррара С. 342
 Фехнер Г. Т. (1801–1887) 376
 Финслер П. (1894–1970) 279
 Фитцджеральд Д. (1851–1901) 72
 Флоренский П. А. (1882–1937) 543
 Фок В. А. (1898–1974) 24, 150, 151, 159, 163, 172, 258, 268, 298, 506
 Фоккер А. Д. (1887–1972) 19, 228, 380
 Фохт В. (1850–1919) 72
 Франк С. Л. (1877–1950) 508
 Фредерикс В. К. 299
 Френкель Я. И. (1894–1952) 82, 94, 97, 380, 506, 524
 Фридман А. А. (1888–1925) 271, 274
 Фридман Д. 342
 Фуси (2852–2737 гг. до н. э.) 26, 27
- Хаббл Э. (1889–1953) 272
 Харитонов А. С. 120
 Хвольсон О. Д. (1852–1934) 74, 94, 378
 Хиггс П. В. 185
 Хойл Ф. (р. 1915) 82, 391, 419
- Цвейг Г. 109
 Целльнер К. Ф. (1834–1882) 289, 376, 377
 Циммерман Е. 168, 212, 471
- Черников Н. А. (1928–2007) 280
 Чжоу Дуньи (1017–1073) 26
 Чью Дж. Ф. (р. 1924) 212, 425–427
 Чэдвик Ч. Дж. (1891–1974) 136
- Шварц Дж. 218
 Шварцшильд К. (1873–1916) 266, 380
 Швейкарт Ф. К. (1780–1859) 238
 Шевелев И. Ш. 120
 Шеллинг Ф. В. (1775–1854) 537
 Шерк Дж. 218, 343
 Широков М. Ф. (1901–1982) 277, 284, 525
 Шмутцер Э. 302
 Шредингер Э. (1887–1961) 25, 149, 151, 501, 506
 Шталь Г. Э. (1670–1734) 63
- Щедровицкий Г. П. (1929–1994) 16
- Эверетт Г. 163
 Эддингтон А. (1882–1944) 278, 294, 391, 392
 Эйлер Л. (1707–1783) 63, 135
 Эйнштейн А. (1879–1955) 53, 67, 73, 148, 158, 162, 234, 243, 247, 257, 273, 278, 290, 294, 296, 302, 325, 393, 408, 422, 531
- Эмпедокл (490–430 гг. до н. э.) 41, 333, 334, 513
 Эренфест П. (1880–1933) 294
 Этвеш Р. (1848–1919) 255
- Юкава Х. (1907–1981) 108, 506
 Юм Д. (1711–1776) 9
 Юнг К. Г. (1875–1961) 541
 Юст К. 301
- Янг Ч. (р. 1922) 309

На фото: Верхний ряд:

A. PICCARD É. HENRIOT P. EHRENFEST Ed. HERZEN Th. DE DONDER
E. SCHRÖDINGER E. VERSCHAFFELT W. PAULI W. HEISENBERG B. H. FOWLER
L. BRILLOUIN

Средний ряд:

P. DEBYE M. KNUDSEN W. L. BRAGG H. A. KRAMERS P. A. M. DIRAC
A. N. COMPTON L. de BROGLIE M. BORN N. BOHR

Нижний ряд:

I. LANGMUIR M. PLANCK Mme CURIE H. A. LORENTZ A. EINSTEIN
P. LANGEVIN Ch. E. GUYE C. T. R. WILSON O. W. RICHARDSON

