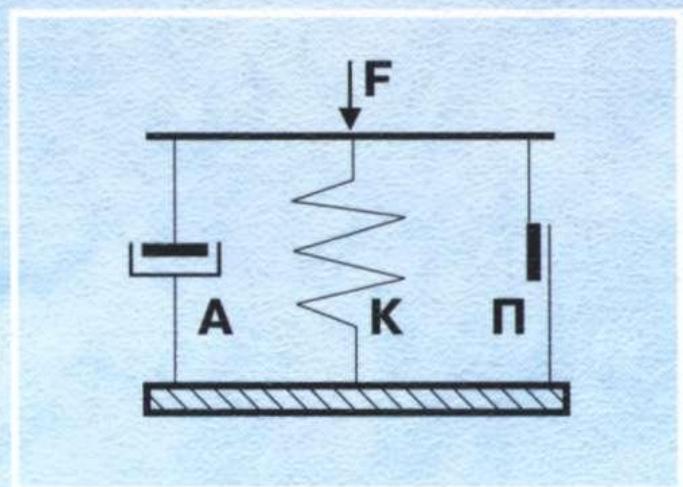


К. П. Агафонов



ЕДИНСТВО ФИЗИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ МИРА

НЕОКЛАССИЧЕСКАЯ
КОНЦЕПЦИЯ

Глажон мне друг,
но истина дороже

Аристотель



Q

R

W

L

W

R

К. П. Агафонов

**ЕДИНСТВО
ФИЗИЧЕСКОЙ
КАРТИНЫ МИРА**

**НЕОКЛАССИЧЕСКАЯ
КОНЦЕПЦИЯ**

МОСКВА



ББК 22.3ф 22.3ш 87.1

Агафонов Константин Павлович

Единство физической картины мира (неоклассическая концепция): Пособие для инженеров, изобретателей и студентов. — М.: Издательство ЛКИ, 2007. 184 с. (Relata Refero.)

В настоящей книге дается доступное, последовательное и математически строгое построение единой картины окружающего нас реального физического мира на базе трех фундаментальных законов деформирования материальных тел, позволяющих составить обобщенное уравнение динамики Ньютона—Лоренца. Решения последнего приводят к сенсационным результатам: на их основе можно с уверенностью рассуждать о трехмерной структуре пространства-времени, о магнитном характере тяготения и ядерных сил, о полевой структуре «темной материи», о ложности физической концепции antimатерии, о физической сущности релятивистских и квантовых эффектов и многие другие.

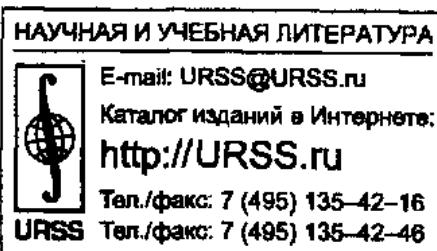
Работа рассчитана на читателя, в силу профессии или простой любознательности интересующегося физикой и ее современными проблемами.

Издательство ЛКИ. 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 9.
Формат 60×90/16. Печ. л. 11,5. Зак. № 847.

Отпечатано в ООО «ЛЕНАНД». 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, д. 11А, стр. 11.

ISBN 978-5-382-00026-8

© Издательство ЛКИ, 2007



Все права защищены. Никакая часть настоящей книги не может быть воспроизведена или передана в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, а также размещение в Интернете, если на то нет письменного разрешения Издательства.

От издательства

Эта книга продолжает серию «Relata Refero» (дословный перевод — рассказываю рассказанное).

Под этим грифом издательство предоставляет трибуну авторам, чтобы высказать публично новые идеи в науке, обосновать новую точку зрения, донести до общества новую интерпретацию известных экспериментальных данных, etc.

В споре разных точек зрения только решение Великого судьи — Времени может стать решающим и окончательным. Сам же процесс поиска Истины хорошо характеризуется известным высказыванием Аристотеля, вынесенным на обложку настоящей серии: авторитет учителя не должен довлесть над учеником и препятствовать поиску новых путей.

Мы надеемся, что публикуемые в этой серии тексты внесут, несмотря на свое отклонение от установившихся канонов, свой вклад в познание Истины.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Вместо введения. Банкротство постньютоновской физической методологии	7
1. Историческая задача физики (7). 2. Виртуальная революция 1905 года (8). 3. Вульгарная религия или лженаука (11)? 4. Пространство и время — задача для школьника (13). 5. Кто виноват (23)? 6. Что делать (26)?	
Глава 1. Классическая механика	29
1.1. Историческая справка (29). 1.2. Вязкость, упругость и пластичность (30). 1.3. Уравнение движения частицы (33). 1.4. Законы классической механики (34). 1.5. Силы инерции (36). 1.6. Обобщённый принцип инерции (37). 1.7. Модель свободного движения (38). 1.8. Глобальный характер вращения (40). 1.9. Абсолютная система отсчёта (42). 1.10. Пример. Инерционное «тяговое» устройство (44). Выводы к главе 1 (46).	
Глава 2. Движение с трением.....	47
2.1. Состояние вопроса и постановка задачи (47). 2.2. Течение жидкостей и газов (48). 2.3. Граничный слой (50). 2.4. Законы трения скольжения (52). 2.5. Трение качения и ударные волны (54). 2.6. Тонкие эффекты трения (56). 2.7. Изнашивание (58). 2.8. Пример. Энергетика машинно-тракторного агрегата (60). Выводы к главе 2 (64).	
Глава 3. Релятивистская механика и пространство-время.....	65
3.1. Постановка задачи (65). 3.2. Энергия частицы и силового поля (66). 3.3. Проблема отрицательной энергии и антиматерии (68). 3.4. Скрытая масса силового поля (70). 3.5. Трёхмерная структура пространства-времени (72). 3.6. Рождение и эволюция Вселенной (75). Выводы к главе 3 (80).	
Глава 4. Тяготение.....	81
4.1. Состояние вопроса и постановка задачи (81). 4.2. Вращающийся комплексный вектор (83). 4.3. Магнитная природа тяготения (85). 4.4. Образование планетной системы (87). 4.5. Законы тяготения (90). 4.6. Энергия связи в планетной системе (94). 4.7. Тонкие эффекты тяготения (96). 4.8. Пример. Антигравитационный проект (98). Выводы к главе 4 (101).	

Глава 5. Термодинамика	102
5.1. Состояние вопроса и постановка задачи (102). 5.2. Темплота, внутренняя энергия и энталпия газа (105). 5.3. Температура, давление и уравнение состояния газа (107). 5.4. Первое начало термодинамики (108). 5.5. Теплоёмкость газа и скорость звука (110). 5.6. Второе начало термодинамики (111). 5.7. Статистическое толкование энтропии (113). 5.8. Термодинамические процессы (114). 5.9. Термодинамические циклы (117). 5.10. Эффективность преобразования теплоты (118). 5.11. Рассеянная теплопроводность (119). 5.12. Дросселирование газов (122). 5.13. Обобщение законов термодинамики (123). 5.14. Пример 1. Тепловой двигатель (124). 5.15. Пример 2. Тепловой насос (126). Выводы к главе 5 (128).	
Глава 6. Электродинамика	129
6.1. Состояние вопроса (129). 6.2. Тормозное излучение электрона (130). 6.3. Реакция излучения и соотношение неопределённости (131). 6.4. Законы индукции силовых полей (134). 6.5. Аналоги уравнений Максвелла (136). 6.6. Электрическая проводимость твёрдых тел (137). 6.7. Волны и модель фотона (139). 6.8. Фотонный газ и формула Планка (141). 6.9. Фундаментальный характер классической электродинамики (143). Выводы к главе 6 (144).	
Глава 7. Физика атома	145
7.1. Состояние вопроса и постановка задачи (145). 7.2. Планетарная модель атома (147). 7.3. Энергия связи электрона с ядром (149). 7.4. Излучение атома (151). 7.5. Эффект Доплера (152). 7.6. Уравнения Шредингера (154). 7.7. Физическая природа квантовых корреляций (155). Выводы к главе 7 (157).	
Глава 8. Свойства атомного ядра	158
8.1. Состояние вопроса и постановка задачи (158). 8.2. Гравитационный характер ядерных взаимодействий (161). 8.3. Потенциальные характеристики ядра (163). 8.4. Энергия связи на нуклон (165). 8.5. Пример. Проблема ядерного энергетического синтеза (167). Выводы к главе 8 (176).	
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	177
ЛИТЕРАТУРА	179

«Простота — единственная почва,
на которой мы можем воздвигнуть
здание наших обобщений»
Анри Пуанкаре

Предисловие

Представляемая работа есть результат длительного общения автора с изобретателями на поприще государственного патентного эксперта, отражающая его личные взгляды на актуальную проблему современной физики: где кончается наука и начинается лженаука. Она содержит последовательное построение единой физической картины мира на базе обобщённого уравнения динамики Ньютона-Лоренца без привлечения каких-либо дополнительных гипотез и постулатов.

Мы исходим здесь из очевидной злободневности научного девиза великого Ньютона: «гипотез не измышляю». Ибо именно гипотезы составляют базис как современной «официальной» или академической физики, так и многочисленных альтернативных физических теорий. В таких условиях надёжно «отделить зёरна от плевель» — истинную физическую науку от лженауки — не представляется возможным. И наша задача — установить зримую границу между физикой реального мира как фундамента научно-технического прогресса и псевдофизикой мира виртуального или математического, основанной на гипотезах. Ибо уверены: «пусты и полны заблуждений те науки, которые не порождены опытом, отцом всякой достоверности, и не завершаются в наглядном опыте» (Леонардо да Винчи).

Не секрет, что математика, сыгравшая огромную позитивную роль в развитии классической физики в качестве её языка, с начала XX века претендует на роль фундамента или основания физики [1]. В результате наблюдается закономерное отчуждение от современной физики огромной армии инженерно-технических работников: предлагаемый ею абстрактный пяти- или одиннадцатимерный скрученный, растянутый или пеноподобный мир с виртуальными объектами, странными частицами, струнами, квантовыми флюктуациями и разумной самоорганизацией физического вакуума, другой подобной математической экзотикой оказывается далёким от того реального физического мира, в котором призваны творить инженер и изобретатель. Физика из самой массовой науки превратилась в элитарную и

её практическая отдача резко упала. В оправдание такой ситуации часто прибегают к «критерию» Бора: всякая новая физическая теория «должна быть достаточно безумной, чтобы быть правильной». Подобного рода взгляды на физику мы отвергаем здесь категорически.

Работа адресуется как инженерам и изобретателям, в том числе будущим — студентам, так и профессиональным физикам — педагогам и исследователям. Первые оценят в ней простоту и доходчивость представления базовых разделов современной теоретической физики как единой картины неживой природы, вторые — плодотворность предлагаемой объединительной идеи.

Эта идея предельно прозрачна: в рамках общепринятой сегодня полевой трактовки физических взаимодействий уравнение движения материальной частицы обязано учитывать взаимодействие её с собственным силовым полем. И в этом случае движение по инерции оказывается не равномерным и прямолинейным (чего в природе не наблюдается), а сложным вращательно-поступательным — по винтовой траектории. Такой характер движения в конечном счёте объясняет количественно и качественно практически всё многообразие наблюдавших физических явлений, одновременно внося существенные корректизы в накопленные знания о релятивистском движении, пространстве-времени, тяготении, ядерных силах, квантах излучения, элементарных частицах и многом другом.

В наши намерения не входит полное и подробное рассмотрение всех разделов современной физики с позиций принятой концепции. Мы ограничимся здесь главным: показом того нового, что вносит эта концепция в наши представления о природе физических взаимодействий, и демонстрацией конкретных примеров приложения её к решению инженерных задач. Особенно поучительными, на наш взгляд, являются традиционно притягательные, но принципиально неработоспособные разного рода энергетические проекты, над реализацией которых безрезультатно бьётся уже ни одно поколение учёных, инженеров и изобретателей. И рассмотренные нами примеры призваны помочь читателю в выборе достойных приложений своего интеллекта.

Автор

Вместо введения БАНКРОТСТВО ПОСТНОЙТОНОВСКОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ МЕТОДОЛОГИИ

«С давних времён, с тех пор, как существует изучение природы, оно имело перед собой в качестве идеала конечную, высшую задачу: объединить пёстрое многообразие физических явлений в единую систему, а если возможно, то в одну-единственную формулу»

Макс Планк

1. Историческая задача физики

Современная физика развивается в двух основных направлениях: изучение фундаментальной структуры материи и унификация взаимодействий, обуславливающих эту структуру, — гравитационного, электромагнитного, сильного (ядерного) и слабого. Обе эти задачи являются составной частью более общей проблемы, которая представляет собой непреходящую программу развития физики: создание единой картины окружающего нас физического мира на базе ограниченного числа достаточно простых исходных принципов.

К числу таких принципов в XX веке относили геометризацию физики, начало которой положил Эйнштейн созданием общей теории относительности (ОТО). Она представляет собой релятивистскую теорию гравитации, и её успех породил многочисленные попытки геометризации электромагнетизма. Такая концепция получила название «единой теории поля», и сам Эйнштейн отдал решению этой задачи более трёх десятилетий своей жизни, считая её центральной проблемой физики. Эта задача «должна была удовлетворять трём жизненно важным для него условиям: объединять тяготение и электромагнетизм, позволять приходить к квантовой физике как к частному случаю более глубокой теории, основанной на причинности, и описывать частицы как свободные от сингулярностей решения уравнений непрерывных полей» [2]. Однако не только усилия самого Эйнштейна, но и усилия целого его поколения физиков-теоретиков оказались тщетными, что породило известный скептицизм: «Что разделил бог, не соединить человеку» (В. Паули).

Со времени Эйнштейна проблема намного усложнилась: сегодня

требуется теория, которая объединяла бы квантовую механику и теорию относительности, охватывала бы все встречающиеся в природе силы и элементарные частицы. При этом она должна обладать математической красотой (критерий П. Дирака) и в то же время быть достаточно простой. Наибольшие надежды на успех связываются с использованием принципов симметрии законов природы и математического аппарата теории групп. На этом пути удалось формально объединить слабое и электромагнитное взаимодействия в единое электротяглое, однако включение в эту концепцию кварково-глюонной модели сильного взаимодействия (программа «Великого объединения») и гравитационных сил (теория суперсимметрии или супергравитации) наталкивается на серьёзные математические и принципиальные физические и технологические трудности, обусловленные необходимостью дальнейшего проникновения в субатомную структуру материи. Возможности экспериментальных методов в физике сегодня оказываются практически исчерпанными и все надежды возлагаются исключительно на математические модели, в частности на суперструнную.

Последнее обстоятельство сводит на нет практическое значение планируемого объединения физики: главные потребители научно-физической продукции — инженеры — не вправе следовать за учёными в их сознательном или невольном стремлении познать реальный физический мир через более доступный (и не менее интересный) виртуальный. Они должны опираться исключительно на *опыт* и наблюдаемые в природе *факты*. Перефразируя П. Дирака, скажем: современный физик играет в игру, правила которой определяет он сам и доступная ему математика, в то время как инженер вынужден играть в игру, правила которой предлагает Природа. В этом и только в этом случае можно не опасаться за результаты инженерных разработок.

2. Виртуальная революция 1905 года

100 лет назад остановилась в своём развитии классическая школа физики, основанная великим И. Ньютона. Начало этому затянувшемуся и пагубному процессу положила широко известная статья А. Эйнштейна, заложившая основы теории относительности (ТО).

Как никто другой, Ньютон оказал огромное влияние на развитие методологии научных физических исследований. До него в естество-

знании господствовало стремление объяснить физические явления с помощью не проверенных опытом гипотез, догадок и даже откровенных спекуляций. Такой метод следует признать дилетантским, поскольку может быть уподоблен стрельбе по мишени с завязанными глазами при бесконечно малой вероятности когда-либо поразить цель. И Ньютона справедливо полагал, что на подобной методологической основе построить истинную физическую теорию реального мира практически невозможно. В своих «Началах» и «Оптике» он противопоставил методу гипотез или «проб и ошибок» действительно профессиональный «метод принципов», суть которого состоит в следующем.

На основе наблюдений и измерений путём индукции формулируются наиболее общие явления или физические свойства материи в виде аксиом, постулатов или принципов — всего того, что допускает опытную проверку и многократное воспроизведение результатов. Из них далее дедуктивным путём в качестве следствий выводятся законы и положения, составляющие физическую теорию. А полученные законы и положения, в свою очередь, также должны быть проверены на опыте. Согласие следствий с опытом и служит гарантией справедливости основных положений профессиональной теории.

В частности, в «Началах» Ньютона в связи с этим читаем: «Причину же этих свойств силы тяготения я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотез же я не измышляю. Всё же, что не выводится из явлений, должно называться гипотезой: гипотезам же метафизическим, физическим, механическим, скрытым свойствам не место в экспериментальной философии».

А вот как трансформируется методология Ньютона в главном (первом) постулате одной из героинь нашего повествования — теории относительности Эйнштейна: «Общие законы природы должны быть выражены через уравнения, справедливые во всех координатных системах, т. е. эти уравнения должны быть ковариантными (неизменными или инвариантными по форме — прим. автора) относительно любых подстановок (общековариантными)» [2].

Как видим, в этом «общем принципе относительности» не фигурирует ни одного реального физического явления, материального объекта или понятия. Ибо ни уравнений, ни координатных систем, ни инвариантов, ни самих общих законов физики природа нам не

обозначила: всё это наши собственные изобретения или математические построения, но не реальные физические свойства материи. И трудно предположить, что Эйнштейн не отдавал себе в этом отчёта и, в частности, не был готов к последовавшим за публикацией и до сих пор не прекращающимся многочисленным и, как мы убедимся далее, вполне справедливым упрёкам в возможности математической мистификации физических явлений. Он отступал от методологии Ньютона сознательно, о чём прямо пишет в своей автобиографии: «Простите меня, Ньютон. Созданные Вами концепции даже сегодня влияют на научные исследования в физике, но их придётся заменить другими, более далёкими от сферы непосредственного опыта».

Таким образом, эпохальным результатом обсуждаемой «научной» революции начала XX века стало открытие нового, математического или виртуального мира. В сравнении с реальным трёхмерным миром классической физики он представился и более интересным, поскольку, как оказалось, вправе игнорировать даже здравый смысл (Н. Бор); и более разнообразным, так как допускает практически любую пространственную размерность такого мира; и более доступным для теоретиков вследствие фактической легализации в науке старого метода гипотез. Это «богатство» виртуального мира на фоне «бродивших по Европе призраков» социальных революций и обеспечило ему закономерную в тех условиях революционную победу.

К тому же, открытие виртуального мира оказалось как нельзя кстати: ожидаемый в то время в научных кругах «конец» классической физики сменился бурным развитием физики математической, приведшим к скорому созданию в промышленно развитых странах виртуальных лабораторий. Так математика, сыгравшая огромную позитивную роль в развитии классической физики в качестве её языка, осуществила «революционный переворот» и взяла на себя роль фундамента или основания «новой физики».

Парадоксально, но факт: последствия социальных потрясений сегодня в большинстве стран практически изжиты; пагубные же последствия виртуальной революции научным сообществом даже не осознаны. Несмотря на никем не оспариваемый факт: наблюдаемый сегодня научно-технический прогресс практически полностью обусловлен успехами классической школы теоретической физики и физики экспериментальной. Результаты же «новой физики» ни в инже-

нерной практике, ни в научной до сих пор себя не проявили. Не считать же таковыми нескончаемую погоню физиков за элементарными частицами с единственной целью «удовлетворить личное любопытство за государственный счёт» (Л. Арцимович); или полувековую элопею строительства и доводки термоядерных реакторов, результаты которой, по-видимому, уже пришло время списать на ходовой ныне афоризм «отрицательный результат — тоже результат».

Тем не менее, победа виртуальной революции в физике есть 100-летнего возраста свершившийся факт, в значительной мере обусловленный природной потребностью математического интеллекта, превалирующего в современной школе физики; и виртуальный мир в широком смысле этого слова — наше настоящее и легко прогнозируемое будущее. А редкие теперь призывы в защиту классических традиций в физике, в необходимости их возрождения, бережного сохранения и преумножения остаются «гласом вопиющего в пустыне». И это не делает чести в первую очередь самому мировому научному сообществу: оно оказалось не способным к самокритической оценке и самоочищению от одних и тех же, постоянно повторяемых ошибок и заблуждений.

3. Вульгарная религия или лженаука?

Физический научный метод — историческое детище религии. В основе последней лежит абсолютизированный миф и многовековой нравственный опыт человечества, позволяющие нарисовать вполне законченную картину идеализированного божественного мира, предназначенного пополнить и укрепить внутренний, духовно-нравственный мир каждого конкретного человека. Познание же мира материального принципиально возможно исключительно на основе длительного и трудоемкого изучения и физического осмыслиения экспериментальных свойств материи. И имея столь разные объекты приложения, наука и религия могли бы и должны гармонично дополнять друг друга, а не противопоставлять себя или, тем более, конкурировать между собой.

Кардинального осмыслиения свойств материи к XX веку в физике не произошло. А виртуальная революция поставила жирный крест на реальном физическом мире, подменив его миром гипотетическим и тем самым уничтожив в принципе всякую возможность познания

материального мира, а следовательно и угрозу возможного «конца» математической физики. Последнее обусловлено практически неисчерпаемым многообразием виртуального мира, которое на практике обеспечивается простым выбором подходящей для данной ситуации гипотезы — такое название получили мифы в физике.

Наиболее показательной и «продуктивной» в этом отношении оказалась гипотеза мирового эфира, обновленная в XX веке под видом гипотезы физического вакуума. Она возродилась в кругах теоретиков на основе опытов Лэмба и Резерфорда в результате вынужденного и, скорее всего, превратного объяснения физической природы сдвига энергетических уровней в спектре атома водорода: в условиях статистического толкования законов микромира, отрицающего траектории электронов в атоме, такое объяснение оказалось фактически единственным возможным и весьма «перспективным». Физический вакуум определяется как низшее энергетическое состояние материи или нулевые колебания квантованных полей, характеризующиеся отсутствием каких-либо реальных частиц. Свойства физического вакуума определяют свойства всех остальных состояний материи, так как любое из них, включая самые экзотические или «безумные», может быть получено из вакуумного действием оператора рождения соответствующих частиц.

Тем самым указанная гипотеза фактически санкционировала творческий произвол в теоретической физике, допускающий ни много, ни мало как смелые утверждения в возможности лабораторного сотворения вселенных. Это обстоятельство, в свою очередь, вновь открыло широкие возможности для научных спекуляций на базе многочисленных альтернативных моделей физического вакуума, породивших страшный призыв академика В. Гинзбурга к научной общественности: «Не проходите мимо!» [3]. Результатом стало создание «Комиссии по борьбе с лженаукой и фальсификацией научных исследований», положившей начало «охоты на ведьм», исповедующих многочисленные альтернативные модели физического вакуума.

Рано или поздно это противостояние должно закончиться либо победой очередной «революции» в физике, либо глубокой «контрреволюцией», в большей мере отвечающей духу времени. В последнем случае неизбежно упразднение «яблока раздора», высокомерно посягающего на тайну Творца и тем самым фактически подменяю-

щего науку вульгарной религией. В работе [4] по этому поводу читаем: «Можно уверенно сказать, что у Вселенной в целом, благодаря сложнейшей структуре физического вакуума, есть ряд признаков системы, способной к самопознанию. Не исключено, что Вселенная как система не только самоорганизована, но жива, и даже разумна вследствие наличия в ней активного элемента (вакуума), способного функционировать в режиме, свойственном Разуму. Такая философская концепция вполне совместима с результатами современной фундаментальной физики и космологии». И далее следует откровенное признание: «то, что происходит в фундаментальной науке, есть часть общечеловеческой программы поиска Бога».

4. Пространство и время — задача для школьника

Наш популярный юморист, знаток и почитатель русского языка Михаил Задорнов на одном из своих выступлений заметил: «Есть понятия *умный* и *разумный*. Это разные понятия. Умный — это человек, который много знает, разумный, — который понимает то, что знает. К сожалению, большинство современных учёных — люди исключительно умные». И в этом, на наш взгляд, разгадка феномена долголетия СТО Эйнштейна, недавно отметившей свой 100-летний юбилей.

Если бы Эйнштейн глубоко (до понимания) усвоил начальный курс классической физики, он бы повёл себя *разумно* и не решился посягнуть на абсолютные пространство и время Ньютона созданием специальной теории относительности. Ибо последняя оперирует инерциальными системами отсчёта (ИСО), которые привязываются к телам, движущимся по инерции равномерно и прямолинейно; а такое движение подробно изучается уже в начале школьного курса физики.

И каждый школьник знает: когда он едет в автобусе, который обгоняется мотоциклистом, то кажущаяся из автобуса скорость мотоциклиста меньше действительной на величину скорости автобуса; и наоборот, кажущаяся из автобуса скорость встречного мотоциклиста всегда больше его действительной скорости. При этом действительная скорость мотоциклиста может быть подсчитана путём векторного сложения скорости автобуса и кажущейся или относительной скорости мотоциклиста (преобразования Галилея).

Постулат Эйнштейна $c = \text{Const}$. Успевающему школьнику может

быть предложена для решения такая задача. Согласно измерениям и СТО Эйнштейна распространение светового луча, в отличие от движения мотоциклиста, указанному закону сложения скоростей не подчиняется. При этом измеряемая из автобуса скорость света одинакова как для встречного луча, так и для обгоняющего, и не зависит от того, движется автобус с наблюдателем или стоит на месте. Объясните причину наблюдаемого парадокса.

Первое, что сделает школьник — это представит последний случай в следующей математической форме:

$$c = l_0/t_0 = l/t = \text{Const}; \quad (1)$$

здесь l_0 и t_0 — пробегающий лучом света путь и затраченное на это время, измеренные наблюдателем при стоящем автобусе, l и t — те же параметры, измеренные наблюдателем при движении автобуса.

Далее, глядя на своё произведение (1) и подумав, наш герой сообразит, что причина парадокса обусловлена необычным поведением измеряемых параметров пространства и времени, стоящих в числителе и знаменателе дроби (1).

«Совершенно верно, — одобрят учитель. — Согласно СТО Эйнштейна это явление, названное релятивистскими эффектами, объясняется относительным характером пространства и времени, обусловленного их кинематическим деформированием при высоких скоростях наблюдателя. В этой теории используется следующая терминология, которой будем придерживаться и мы:

соотношение (1) определяется как второй постулат СТО;

l_0 и t_0 — параметры абсолютного ньютоновского или классического пространства и времени, т. е. не изменяющиеся их эталоны;

l и t — параметры эйнштейновского относительного или релятивистского пространства и времени, изменяющиеся при переходе от одной ИСО к другой.

Продолжим. Согласно СТО наблюдаемые из движущегося автобуса релятивистские расстояния или длины предметов l сокращаются в направлении движения тем в большей мере, чем выше скорость наблюдателя. Что происходит в этом случае с наблюдаемыми из автобуса релятивистскими часами?»

«Время по таким часам также должно сократиться» — уверенно ответит школьник.

«Возможны ли другие решения?» — спросит учитель.

«Возможно» — ответит ученик. И обратит внимание учителя, что представленное выше математическое определение скорости света (1) справедливо и в рамках ньютоновской концепции абсолютных пространства l_0 и времени t_0 . Ибо требование здесь одно: числитель и знаменатель дроби (1) обязаны либо сохраняться неизменными, либо изменяться по одному и тому же закону.

«А согласно Эйнштейну, — вмешивается учитель, — параметры наблюдаемого из движущегося автобуса релятивистского пространства и времени определяются следующими совершенно разными за-

$$l = l_0 \sqrt{1 - u^2 / c^2}, \quad (2)$$

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - u^2 / c^2}}, \quad (3)$$

— сокращение (сжатие) релятивистских длин l при повышении относительной скорости наблюдателя сопровождается замедлением (удлинением, растяжением) релятивистского времени t . Что ты на это скажешь?»

Парадокс движения. «Соотношения Эйнштейна (2) и (3) не верны, — поразмыслив, сделает вывод школьник, — и вот почему. Насколько мне известно, по своему замыслу СТО — это релятивистская теория движения, и как таковая она способна только уточнить результаты классической теории движения при выходе за границы применимости последней, но не ставить эти результаты «с ног на голову». А формулы СТО о сокращении релятивистских длин (2) и замедлении релятивистского времени (3) мною воспринимаются буквально и однозначно: в области релятивистских скоростей по неведомым причинам для прохождения меньших расстояний требуется большее время. Очевидно, что этот вывод ни только противоречит тривиальному житейскому опыту, но и ведёт к следующему абсурдному утверждению: с повышением скорости движения тела она фактически уменьшается.

В самом деле, при движении объекта с релятивистской скоростью u , наблюдаемые из него релятивистские пространство и время характеризуются величинами:

$$l_1 = l_0 \sqrt{1 - u_1^2 / c^2},$$

$$t_1 = \frac{t_0}{\sqrt{1 - u_1^2 / c^2}}.$$

При движении с релятивистской скоростью $u_2 > u_1$ соответственно имеем:

$$l_2 = l_0 \sqrt{1 - u_2^2 / c^2},$$

$$t_2 = \frac{t_0}{\sqrt{1 - u_2^2 / c^2}}.$$

При этом получаем:

$l_2 < l_1$ (релятивистское пространство сократилось),

$t_2 > t_1$ (релятивистское время увеличилось).

Таким образом во втором случае, т. е. при возросшей фактической или классической скорости движения наблюдателя меньшее расстояние l_2 пройдено им за больший отрезок времени t_2 и следовательно с меньшей релятивистской скоростью. В предельном же случае движения при $u = c$ (фотон) эти соотношения дают результат $c = 0$, грубо противоречащий и опыту, и самому исходному постулату (1)».

«Смело, но убедительно, — делает вывод учитель. — В изложенном вся суть теории относительности — как частной, так и общей: чем больше мы увеличиваем скорость движения в рамках «классики», тем меньшей она оказывается с позиций ТО. В частности, согласно «классике» падающее на «чёрную дыру» тело при достижении горизонта событий приобретает скорость, равную скорости света, а согласно ТО такое падение вообще прекращается. Как будто со стороны «чёрной дыры» вдруг возникла неведомая сила отталкивания, которая в последний момент остановила падение тела, в точности уравновесив силу гравитационного притяжения.

На основании соотношений (2) и (3) можно построить и соответствующий график (кривая 2 на рис. 1) зависимости релятивистской скорости движения $u' = l/t$, предсказываемой СТО, от истинной или классической скорости объекта $u = l_0/t_0$. График функции, построенный по соотношению

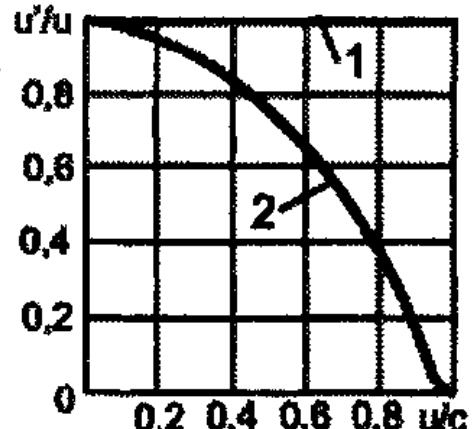
$$u'/u = 1 - u^2/c^2,$$

в диапазоне значений $u'/u = 0 \dots 1$, показывает, что даже при малых скоростях движения релятивистская и классическая механика (прямая 1 на рисунке) дают существенно расходящийся результат, а при больших, сопоставимых со скоростью света, обнаруживается их полное расхождение. А именно: в предельном случае $u/c = 1$ классическая механика даёт скорость, равную скорости света, а релятивистская механика Эйнштейна даёт нуль».

«И причина парадокса движения, — продолжает ученик — предельно ясна: соотношения (2) и (3) не удовлетворяют сформули-

Рис. 1. Характер изменения скорости тела:

- 1 — согласно классической механике;
- 2 — согласно СТО Эйнштейна.



рованному выше необходимому условию идентичности законов релятивистского деформирования пространства и времени. Математически это требование в данном случае должно выглядеть так:

$$l/l_0 = t/t_0 = f(u/c), \quad (4)$$

где $f(u/c)$ — одна из двух функций, входящих в соотношения (2) и (3). Но какая?».

Квантовая поправка. «Давайте выберем, — вмешивается учитель, — опираясь на твёрдо установленные факты. А они таковы.

Согласно СТО и данным опыта энергия релятивистской частицы, в частности, движущегося в ускорителе электрона определяется со-

$$\text{отношением} \quad \mathcal{E} = \frac{\mathcal{E}_0}{\sqrt{1 - u^2/c^2}}, \quad (5)$$

где \mathcal{E}_0 — энергия покоящегося электрона соответственно. А в квантовой механике (КМ) указанным величинам энергии сопоставляются кванты энергии:

$$\mathcal{E} = \hbar\omega, \mathcal{E}_0 = \hbar\omega_0, \quad (6)$$

где \hbar — постоянная Планка, ω и ω_0 — соответствующие этим энергиям частоты электрона-волны. Решая (5) и (6) совместно, для периода колебаний электрона-волны τ получим выражение

$$\tau = \tau_0 \sqrt{1 - u^2/c^2}, \quad (7)$$

которое совместно с подстановкой $\tau \equiv t$ и будем далее использовать

вместо соотношения (3).

Согласно (7) при увеличении истинной или классической скорости движения наблюдателя релятивистское время t сокращается по закону сокращения релятивистского пространства l . В пользу такого выбора говорит и простая логика. Пространство и время по современным представлениям образуют единую физическую категорию пространства-времени. Ибо в реальном физическом мире не обнаружено пространства без времени и времени вне пространства. В таком случае и изменяется пространство-время не может по двум взаимоисключающим законам. В пользу нашего выбора мы приведём позже ещё одно наглядное подтверждение. А сейчас пришло время для глобальных выводов на базе соотношений (2) и (7)».

Пространство и время. «Теперь всё просто, — подхватывает школьник. — Совместное решение соотношений (2) и (7) даёт следующий результат:

$$l/l_0 = t/t_0 = 1. \quad (8)$$

Из него, во-первых, следуют равенства

$$l = l_0, t = t_0,$$

которые определяют абсолютное пространство и время Ньютона».

«Тогда что описывают соотношения (2) и (7) сами по себе, каждое в отдельности? — спрашивает учитель. — Что это за «пространство» l и какое-такое «время» t сокращаются согласно этим соотношениям?».

«Во-вторых, — прерывает школьник, — из соотношения (8) следует постулат (1) постоянства скорости света. По этой причине мы делаем вывод, что соотношения (2) и (7) определяют относительность какого-то локального «пространства» и «времени», например, освещаемого движущимся источником света (рис. 2). При этом параметры l и l_0 задают длину волны света, а t и t_0 период колебаний этой волны соответственно в режимах движения и покоя источника.

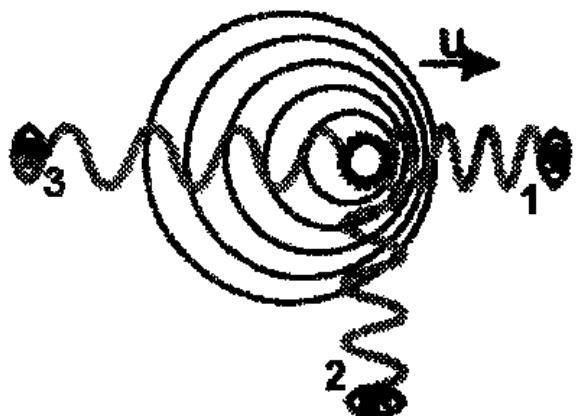
На рисунке показано, что электромагнитное или световое поле, окружающее излучатель, при движении последнего деформируется: сжимается в направлении движения излучателя, демонстрируя наблюдателю 1 так называемое голубое смещение спектра излучения; и растягивается в противоположном направлении, демонстрируя наблюдателю 3 красное смещение спектра. Эти явления известны как продольный эффект Доплера. Очевидно также, что наблюдатель 2 в

этом случае должен зафиксировать поперечный эффект Доплера в виде более слабого голубого смещения спектра».

«Здесь уместно заметить, — вмешивается учитель, — что СТО Эйнштейна предсказывает красное смещение спектра в качестве поперечного эффекта Доплера. Это обстоятельство лишний раз свидетельствует в пользу нашего выбора соотношения (7) вместо соотношения Эйнштейна (3)».

«Нам осталось, — завершает школьник, — перенести полученный результат на другие физические или силовые поля, в частности, на гравитационное, ещё не обнаруженное экспериментально. Как бы не изменилось это поле при взаимодействии со своим носителем — гравитаци-

Рис. 2. Движущийся источник света задаёт локальное пространство-время



онной или инертной массой, — физическое пространство и время сохраняются абсолютными. Другими могут оказаться только константа скорости распространения гравитационных волн и функция (4) деформирования такого поля. Но относительным будет только «пространство» и «время» локального гравитационного поля. И понятно почему: локальных гравитационных полей бесчисленное множество, их можно сравнивать между собой; а пространство-время одно-единственное, ни с чем не сравнимое — абсолютное».

Учитель: «Молодец, ставлю тебе высшую оценку. И призываю всех внимательно послушать: я расскажу, где в СТО Эйнштейн сделал неверный шаг».

Комментарий учителя. Пример СТО Эйнштейна демонстрирует опасность забвения золотого правила физиков классической школы — не доверять сложному математическому аппарату и формализму. Ибо «математика подобно жернову перемалывает то, что под него засыплют, и если засыпать лебеду, то ничего кроме лебеды и не получишь» (Гексли). И в поисках такой «лебеды» обратимся к первоисточнику — одной из общедоступных работ Эйнштейна [5].

Читаем: «Наша задача в точной формулировке сводится к следующему. Каковы значения x' , y' , z' , t' некоторого события относительно движущейся со скоростью u системы координат K' , если заданы значения x , y , z , t того же события относительно неподвижной системы координат K ? Соотношения должны быть выбраны так, чтобы для одного и

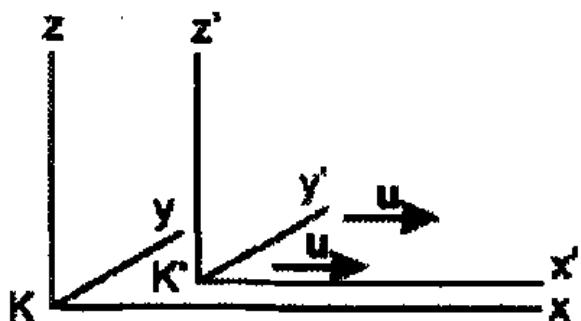


Рис. 3. Неподвижная K и движущаяся K' инерциальные системы отсчёта

того же светового луча (причём для любого) относительно K и K' выполнялся закон постоянства скорости распространения света в пустоте». Эта задача для приведённого на рис. 3 пространственного расположения систем координат решается следующими уравнениями:

$$\begin{aligned}x' &= \frac{x - ut}{\sqrt{1 - u^2/c^2}}, \\y' &= y, \\z' &= z,\end{aligned}$$

$$t' = \frac{t - ux/c^2}{\sqrt{1 - u^2/c^2}}.$$

Эта система уравнений носит название «преобразования Лоренца».

В обоснование этой предпосылки Эйнштейн приводит далее следующий пример. «Пусть в положительном направлении оси x посыпается некоторый световой сигнал, который распространяется согласно уравнению

$$x = ct, \quad (9)$$

т. е. со скоростью c . Согласно уравнениям преобразования Лоренца это простое соотношение между x и t обуславливает соотношение между x' и t' . В самом деле, если в первое и четвёртое уравнения преобразования Лоренца подставить ct вместо x , то получаем

$$x' = \frac{(c - u)t}{\sqrt{1 - u^2/c^2}}, \quad (10)$$

$$t' = \frac{(1 - u/c)t}{\sqrt{1 - u^2/c^2}}, \quad (11)$$

откуда путём деления получаем

$$x' = ct'.$$

Это уравнение описывает распространение света, когда оно отнесено к системе K' . Таким образом, скорость света равна c также и относительно тела отсчёта K . Аналогичный результат может быть получен и для световых лучей, распространяющихся в любом другом направлении. Это и не удивительно, так как уравнения преобразования Лоренца выведены именно в предположении этого результата».

«Я кладу метровую линейку, — продолжает Эйнштейн, — вдоль оси x' системы K' так, чтобы её начало находилось в точке $x' = 0$, а конец — в точке $x' = 1$. Какова длина этой линейки относительно системы K ? Чтобы узнать это, достаточно спросить лишь, где находятся её начало и конец относительно K в определённый момент t в системе K . Для начала и конца линейки из первого уравнения преобразования Лоренца при $t = 0$ находим:

$$\begin{aligned}x \text{ (начало линейки)} &= 0 \cdot (1 - u^2/c^2)^{1/2}, \\x \text{ (конец линейки)} &= 1 \cdot (1 - u^2/c^2)^{1/2}.\end{aligned}$$

Таким образом, расстояние между обеими этими точками равно $(1 - u^2/c^2)^{1/2}$. Но относительно K метровая линейка движется со скоростью u . Отсюда следует, что длина твёрдой метровой линейки, движущейся в направлении своей длины со скоростью u , составляет $(1 - u^2/c^2)^{1/2}$. Таким образом, движущаяся твёрдая линейка короче, чем та же линейка, находящаяся в покое, причём тем короче, чем быстрее она движется».

Применяя далее аналогичную мысленную процедуру и преобразование Лоренца к показаниям часов, Эйнштейн показывает: если моменты времени $t' = 0$ и $t' = 1$ соответствуют двум последовательным ударам покоящихся в системе K' часов, то показания их в те же моменты времени при наблюдении из системы K , относительно которой часы движутся, будут определяться соотношениями

$$t = 0,$$

$$t = \frac{1}{\sqrt{1 - u^2/c^2}}.$$

«Часы, вследствие своего движения, идут медленнее, чем в состоянии покоя» — делает вывод Эйнштейн.

Формулы (10) и (11), как видим, получены Эйнштейном путём последовательного применения преобразования Лоренца к параметрам x и t , связанным прямой зависимостью $x = ct$. Именно здесь он и «засыпал лебеду в математические жернова». Далее продолжим рассуждать за Эйнштейна. С помощью его же подстановки (9) преобразования Лоренца в форме (10) и (11) представим одним выражением:

$$\frac{x'}{x} = \frac{t'}{t} = \frac{(1 - u/c)}{\sqrt{1 - u^2/c^2}}.$$

Это означает, что преобразования Лоренца, в отличие от полученного Эйнштейном результата (2) и (3), удовлетворяют сформулированному нами необходимому условию (4) инвариантности скорости света: параметры x'/x и t'/t описываются одной и той же функцией деформирования, которая с увеличением скорости u/c непрерывно уменьшается, стремясь к нулю при $u = c$.

Как же могло случиться такое расхождение? Здесь уместно заметить, что преобразования или группа Лоренца не являются количественными, а сводятся к сдвигу в пространстве или повороту системы координат относительно её начала. Сдвига во времени (входящего в преобразования или группу Пуанкаре) этими преобразованиями не предусмотрено: Лоренц не считал t' истинным физическим временем системы K' , а рассматривал его как некую вспомогательную величину, имеющую чисто формальный смысл. Тогда ответ на поставленный вопрос может быть таким: преобразования Лоренца, строго говоря, можно применять только к оценке поведения линейки. Подвергать преобразованиям одновременно оба параметра x' и t' , связанных простым соотношением $x' = ct'$, нельзя. Если мы преобразовали расстояние x' , то поделив преобразованную величину на константу c , мы получим формулу (7) и тем самым преобразуем и время t' . При поочерёдном преобразовании обоих параметров x' и t' происходит двойное преобразование, ведущее к неверному результату.

Налицо, таким образом, личная инициатива молодого Эйнштейна расширить возможности преобразований Лоренца, которые сами по себе также представляют типичную физическую «лебеду». Ибо придуманы они для инерциальных систем отсчёта, которые, строго говоря, в природе не встречаются и сам Лоренц на их основе пришёл к неудовлетворительному результату.

5. Кто виноват?

Похожая на описанную выше ситуация наблюдается и в других разделах виртуальной физики. Чтобы не утомлять читателя примерами, соплёмся на авторитетное мнение Р. Фейнмана на этот счёт: «Если вы поглубже вгрызётесь почти в любую из наших физических теорий, то обнаружите, что в конце концов попадаете в какую-нибудь неприятную историю» [6].

Корни этих неприятностей, естественно, уходят в историю развития теоретической физики и прежде всего в революционные преобразования начала XX столетия. Если говорить об атомной физике, то эти неприятности, на наш взгляд, обусловлены ложностью исходного тезиса, сознательно или в силу недоразумения взятого на вооружение физиками-революционерами и до сих пор кочующего из одного учебника по физике в другой под видом следствия из классической электродинамики Максвелла.

Приводим типичную формулировку злополучного тезиса: «Благодаря наличию центростремительного ускорения у движущихся вокруг ядра электронов они должны непрерывно излучать электромагнитные волны. В результате потери энергии на излучение радиус орбиты электронов должен непрерывно уменьшаться и в конце концов электроны должны упасть на ядро, т. е. с точки зрения классической физики атом в виде планетарной модели вообще существовать не может» [7].

Ложность тезиса следует уже из того, что классическая электродинамика была создана Максвеллом (1831 – 1879) задолго до появления планетарной модели атома, предложенной Резерфордом в 1912 г. И если, следуя классической методологии Ньютона, придерживаться только фактов и логики, то имеем совершенно иную картину. Электрон в атоме вращается, о чём свидетельствует наличие у него соответствующих свойств — механического и магнитного моментов; и естественно находится под постоянным воздействием центростремительного ускорения. При этом, вопреки приведённому выше тезису, атом остаётся стабильным, то есть не излучает. Вывод очевиден: не всякое ускорение или вращение заряда приводит к излучению электромагнитных волн. Яркий тому пример — вращательное движение электрона или протона в стационарном магнитном поле.

Теория Максвелла только предсказала существование электромагнитных волн излучения, открытых затем Герцем (1888). А механизм излучения электрона в атоме был исследован Дж. Дж. Томсоном (1903) в рамках предложенной им же первой, чисто гипотетической модели атома с размазанным по объёму зарядом ядра и покоящимися в середине электроном (модель упруго связанного электрона). Томсон показал, что при возбуждении такого атома электрон испытывает возвратно-поступательные затухающие колебания, при которых вектор его ускорения периодически меняет знак на противоположный, благодаря чему атом излучает свет. И в вибраторе Герца, и в современных антенах излучение электромагнитных волн происходит по аналогичной схеме: к свободным электронам подводится энергия извне, обеспечивающая циклическое изменение направления их вектора ускорения движения на обратное, при котором электроны частично освобождаются от своих полей. Если прекратить подвод энергии, то прекратится и излучение антенны.

Планетарная модель невозбуждённого атома Резерфорда аналогочна планетной системе. Вечное движение электрона в такой модели есть непрерывное одностороннее вращение вокруг ядра, осуществляющееся при неизменном (к центру) направлении вектора ускорения и в условиях отсутствия энергообмена с окружающей средой. Из этого следует, что такое движение осуществляется само собой, по инерции. Подведите к электрону энергию извне в виде достаточно энергичного фотона и получите ответную реакцию атома — излучение электромагнитной волны.

Таким образом, мы приходим к необходимости расширить определение движения тел по инерции, признав за таковым фактически всякое движение, осуществляющееся без обмена энергией с окружающей средой. И здесь мы возвращаемся, пожалуй, к главному ложному тезису как источнику всех «неприятностей», с которыми постоянно сталкивается физика.

Речь идёт о принципе инерции Галилея или первом законе динамики Ньютона, современная формулировка которого такова: «тело, достаточно удалённое от других тел, сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения» [8]. Такая формулировка уже у школьника порождает недоумённый вопрос: «А как быть с вращением предварительно раскрученного маховика или велосипедного

колеса, разве они не относятся к такому же виду движения — движению по инерции?» Причём, реальных примеров прямолинейного движения по инерции в учебниках физики, как правило, не приводится. Либо в качестве такового рассматривается условно прямолинейное движение вагона, «запущенного» по рельсам, уложенным вдоль горизонтального участка железнодорожного пути, без учёта сил сопротивления такому движению.

Между тем, сам-то Галилей разделял взгляды Аристотеля на этот счёт, согласно которым тело, не испытывающее действие силы, должно двигаться по окружности как идеальной траектории. А современную формулировку закона инерции дал уже позднее Декарт [9]. И чтобы убедиться в правоте Аристотеля и Галилея, достаточно представить себе упомянутые рельсы уложенными вдоль земного экватора: окажется, что движение вагона по инерции является вращением вокруг Земли. Теперь остаётся один шаг до реализации планетной системы: для этого необходимо «запустить» вагон по рельсам с первоначальной скоростью, превышающей первую космическую, и он продолжит движение по инерции вдоль эйнштейновской геодезической уже на орбите искусственного спутника Земли.

В свете изложенного становится очевидным, что извращение принципа инерции Галилея в трудах последующих исследователей напрямую способствовало появлению специальной теории относительности с её не существующими инерциальными системами отсчёта. Ибо наблюдаемое в природе глобальное вращение материальных тел такой теории не допускает в принципе: оно (вращение) было и есть движение абсолютное. А не дополнив ложными следствиями электродинамику Максвелла и тем самым не покончив с классической школой физики, нельзя было приступить к строительству революционной теории атома — квантовой механики (КМ).

«Квантовой механики никто не понимает», — горько признал Р. Фейнман [10]. И это один из верных признаков явного неблагополучия в современной квантовой теории атома. Ибо, по авторитетному мнению главного архитектора атомной модели — Э. Резерфорда, «если теория представляет хоть какую-либо ценность, её можно объяснить буфетчице» [11]. Другим таким признаком является установленное в рамках современной КМ жёсткое разграничение законов макро- и микромира, которое не согласуется с нашей глубокой верой

в единство и гармонию Природы.

6. Что делать?

В условиях рыночной экономики качество и цену продукта определяет исключительно покупатель или потребитель этого продукта. Физика — это фундамент инженерных разработок, в силу чего за неё и закрепился статус фундаментальной науки. Следовательно, истинную оценку достижений этой науки способен и должен обеспечить не учёный, тем более не автор предлагаемого продукта (в этом случае мы имеем дело с обычной саморекламой), а грамотный инженер как основной потребитель этого продукта. Отсюда следует вывод: инженерно-прикладная, она же фундаментальная физическая наука должна развиваться исключительно на основе договорных отношений в рамках конкретных инженерных проектов. И только такая наука может быть экономически эффективной, и только её, а не «научное богоискательство» готов сегодня и впредь финансировать отечественный предприниматель и налогоплательщик.

А вот что предлагает инженеру и изобретателю в качестве фундамента современная или виртуальная физика: чёрные дыры, которые принципиально не могут быть напрямую идентифицированы; гравитационные волны, которые до сих пор не зарегистрированы и, по-видимому, неслучайно; кварки, которые также по принципиальным соображениям не могут быть выделены в свободном состоянии; физический вакуум, из которого учёные подобно фокусникам могут извлекать что угодно, прикрываясь квантовыми флуктуациями и не считаясь даже с законами сохранения; пяти- или одиннадцатимерный скрученный, растянутый или пеноподобный мир с виртуальными объектами, странными частицами и суперструнами.

И совершенно ясно, что можно строить на таком «фундаменте». Согласно СТО относительность времени означает ни много, ни мало как принципиальную возможность создания «машин времени» для путешествий на них из настоящего в прошлое или будущее и обратно. В рамках ОТО получили, наконец, статус принципиально реализуемых источников даровой энергии пресловутые «вечные двигатели». А квантовая механика пришла к необходимости наделения микрочастицы сознанием, признания особых нефизических взаимодействий.

вий, которые осуществляются сигналами с бесконечной скоростью распространения, и открыла явление телепортации, в идеале обещающего возможность мгновенного перемещения объекта из одной галактики в другую.

Как видим, речь фактически идёт о возведении фундамента отнюдь не инженерно-прикладного, а ... литературного или телевизионного для обогащения их научно-фантастического жанра. И это — практически всё, что получило общество от виртуальной физики за 100 лет её победоносного развития. А что оно потеряло в результате полного забвения классических физических традиций? На этот счёт сегодня можно делать только предположения. Весьма вероятно, в частности, что уже была бы решена энергетическая проблема, и мы прекратили бы, наконец, разорительную практику «топить печь асигнациями» (Д. Менделеев) в виде газо- и нефtedолларов. Ибо для целенаправленного решения проблемы того же ядерного синтеза нужна, как минимум, адекватная физическая теория атома, а не современный её математический суррогат. А таковая, как показывает опыт прошедшего столетия, может зародиться и развиваться только в рамках классических представлений и традиций физики.

Осознание этой, по-видимому, не для всех очевидной истины в своё время (1986 год) и побудило автора данных строк исследовать возможности «контрреволюционного» пути дальнейшего развития теоретической физики, возвращающего нас к классическим традициям и учитывающего достижения современной экспериментальной физики и наблюдательной астрономии. Классическая физика исходит из определения вакуума как абсолютной пустоты и в силу этого считается малоперспективной, в частности, при изучении процессов взаимного превращения излучения и вещества или для объяснения процесса рождения и эволюции Вселенной. Между тем, это не так. Оказывается, что для достижения ещё большего успеха в решении и таких задач достаточно лишь слегка расширить содержание давно утвердившейся классической полевой трактовки физических взаимодействий, а именно: учесть взаимодействие материального тела или частицы с собственным физическим (силовым) полем, коль скоро такое поле является реальностью. Такую физическую концепцию мы называем здесь неоклассической: физике виртуальной или гипотетической она противопоставляет физику реального трёхмерного мира.

Решение задачи оказалось возможным и эффективным, если в качестве объединяющего фундамента принять не физическую природу сил и их носителей (Стандартная модель), выделение которой уже само по себе противоречит идее объединения, а универсальный характер их изменения в различных физических процессах на макроскопическом уровне. Пример такого рода сил даёт механика сплошных сред в виде трёх фундаментальных характеристик деформирования или свойств реальных физических тел: пластичности, упругости и вязкости. И задача состоит в том, чтобы по возможности обобщить эти характеристики для составления общего уравнения динамики, пригодного для описания всякого силового взаимодействия. В этом и состоит сущность предлагаемого подхода.

Иными словами, речь идёт об использовании единой механической или вязкоупругопластической модели, отражающей *опыт*, и наблюдаемого в природе *факта* постоянства скорости света (опыт Томашека, измерения Майкельсона-Морли) для описания всех видов физического взаимодействия, а в конечном счёте — о создании единой физической картины окружающего нас материального мира на базе неоклассических представлений. Объединение физики в этом случае происходит естественным путём, а получаемые из теории выводы столь же естественно оказываются свободными от каких-либо противоречий со здравым смыслом и математической экзотики. При этом известные постулаты теории относительности и квантовой механики, зачастую достаточно спорные, становятся невостребованными, и вся теория радикально упрощается.

Как убедится читатель, предлагаемая физика реального мира идеально отвечает критериям простоты А. Пуанкаре и математической красоты П. Дирака одновременно. В частности, вместо 14 уравнений, описывающих гравитационное взаимодействие в ОТО Эйнштейна, она использует одно-единственное уравнение для описания всех видов физического взаимодействия. Для тех, кто видит или ищет в физике истинную и доступную науку о Природе, это многого стоит. И именно такому читателю наша работа адресуется.

Глава 1. КЛАССИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

На базе фундаментальных характеристик деформирования реальных тел: вязкости, упругости и пластичности — предлагается универсальная модель физических взаимодействий, описывающая как механику сплошной среды, так и движение отдельной материальной частицы; даётся обоснование законов сохранения энергии, импульса и момента импульса.

1.1. Историческая справка

Первым удачным примером объединения физических явлений: электрических, магнитных, оптических — принято считать уравнения электродинамики Максвелла. Они были получены с помощью механической аналогии электромагнитных явлений, в основе которой лежало следующее убеждение автора: «Говоря об энергии поля, я хочу быть понятым буквально. Всякая энергия есть то же, что и механическая энергия, существует ли она в форме обычного движения, или в форме упругости, или в какой-нибудь другой форме. Энергия электромагнитных явлений — это механическая энергия. Единственный вопрос заключается в том, где она находится» [12].

Дюгем, известный в прошлом историк физики, назвал механическую модель (довольно сложную) в теории Максвелла «паразитирующим растением на крепком и полном жизни дереве». Однако подавляющее большинство физиков XIX века: Клаузиус, В. Томсон, Гельмгольц, Больцман, Герц, Лоренц — глубоко верили в возможность механического объяснения немеханических явлений (вспомним слова В. Томсона: «объяснить — это значит построить механическую модель»). Эта вера ещё более утвердилась с широким распространением вариационных принципов механики на описание немеханических явлений и достигла апогея в период создания кинетической теории газа (модель Крёнига) и выявления микроструктуры вещества (модель атома Бора). Затем механические модели в физике уступили место формальным релятивистским и квантовым представлениям.

Однако многие выдающиеся исследователи эпохи становления современной физики, включая Планка, Лауз, Шредингера и других,

были категорически против радикального изменения физического мировоззрения. «Классическая теория дала нам столько полезного, — предостерегал Планк в письме к А. Ф. Иоффе, — что к ней надо относиться с величайшей осторожностью и охранять её». А выдающийся русский учёный и педагог Н. Е. Жуковский прямо призывал: «Математическая истина только тогда должна считаться вполне обработанной, когда она может быть объяснена вся кому из публики, желающему её усвоить». Такую задачу и выполняет моделирование, которое он определил как «высшую степень наглядности» [13].

1.2. Вязкость, упругость и пластичность

Для построения исходной расчётной модели взаимодействия реальных физических тел в простейшем одномерном случае обратимся к рис. 1.1. Здесь на примере движения элементов реального устройства — опорного колеса (а) и полевой доски (б) плуга — представлены два вида трения, связанные с двумя видами деформирования среды. Трение качения (рис. 1.1, а) обусловлено уплотнением (сжатием) грунта, в результате чего частицы его перемещаются в направлении нормали к поверхности колеса со скоростью, горизонтальная составляющая которой равна скоро-

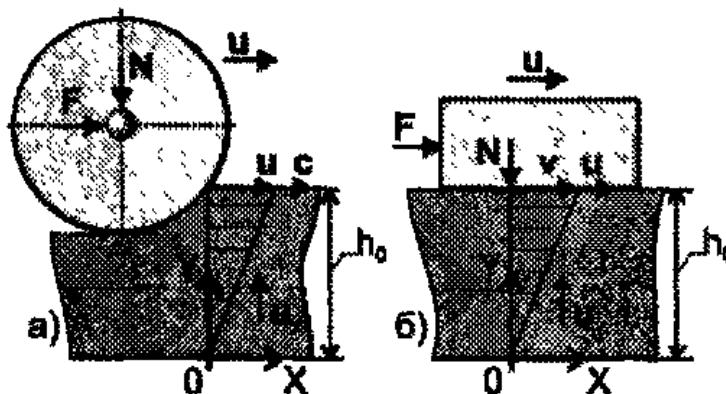


Рис. 1.1. Схема «течения» граничного слоя при качении (а) и скольжении (б) тел по деформируемой опоре (грунту)

сти и движения колеса. Трение скольжения (рис. 1.1, б) сопровождается сдвигом частиц грунта со скоростью v , меньшей скорости u тела. Напряжения сжатия и сдвига грунта определяются по величине потребной толкающей силы F , отнесённой к характерной площади s деформатора. Перемещение частиц грунта распространяется на некоторую конечную глубину h_0 , называемую граничным или контактным слоем. Изменение скорости частиц по высоте слоя показано на рисунке заштрихованными фигурами и в первом приближении может быть принято линейным.

Задача состоит в том, чтобы описать процессы трения на базе известных фундаментальных законов деформирования тел, в частности, грунта при сжатии и сдвиге: закона Гука, характеризующего упругое поведение твёрдых тел в пределах малых величин деформаций, и закона Ньютона, описывающего вязкое течение реальных жидкостей. Так как в любых реальных телах оба эти свойства — упругость и вязкость — в большей или меньшей мере проявляются совместно, то для этого в расчётную модель трения (рис. 1.2) помимо фрикционного элемента,

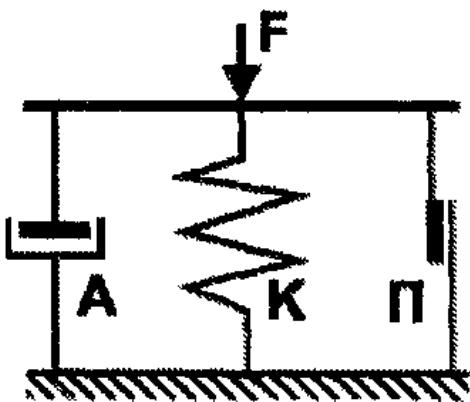


Рис. 1.2. Вязкоупругопластическая модель деформирования тел

характеризующего «чистое» или идеальное внешнее трение (сила Π), обусловленное вертикальной нагрузкой N на движущееся тело, необходимо ввести также упругий (пружинный) K и вязкий (гидравлический демпфирующий) A элементы и определять силу трения как алгебраическую сумму трёх составляющих. Такая модель называется вязкоупругопластической, поскольку элемент трения характеризует особый вид деформирования тел — пластическое течение, при котором сила сопротивления сохраняется постоянной.

Термин «упругость» здесь не следует понимать буквально, поскольку деформации большинства реальных тел полностью не восстанавливаются и не являются упругими в строгом смысле этого слова. В механике сплошных или деформируемых сред, в частности, в механике грунта этот термин широко используется для описания закона линейной деформируемости (квазиупругости) реальных тел в пределах ограниченных величин деформаций.

Закон Гука для твёрдых тел определяет пропорциональность квазиупругих сил относительному изменению объёма тел или относительной их деформации; коэффициент пропорциональности K , называемый модулем упругости или жёсткостью, характеризует напряжённость деформируемого тела. Закон Ньютона для реальных жидкостей определяет пропорциональность вязких сил градиенту скорости частиц в граничном слое; коэффициент пропорциональности A называют коэффициентом вязкости ньютоновской жидкости. При-

мем далее во внимание, что абсолютная величина объёмной деформации ΔV грунта за малый промежуток времени Δt , задающий малую величину относительной деформации, пропорциональна скорости и деформирования $\Delta V = su\Delta t$; а полный объём V грунта, вовлекаемого в процесс деформирования за то же время, — скорости с распространения деформаций в среде $V = sc\Delta t$. Тогда величина относительной деформации грунта при качении колеса однозначно определится как отношение указанных скоростей:

$$\Delta V/V = \beta = u/c \leq 1,0.$$

Для скользящего тела полный объём V грунта, подвергаемого сдвигу за малый промежуток времени, пропорционален скорости и скольжения, а абсолютная величина объёмной деформации ΔV — скорости v частиц грунта. Поэтому относительную деформацию сдвига можно определить соотношением:

$$\Delta V/V = \gamma = v/u \leq 1,0. \quad (1.1)$$

Таким образом, вязкоупругопластическая модель или АКП-система по рис. 1.2 позволяет составить следующие два интегральных уравнения деформирования тел — при сжатии и сдвиге соответственно:

$$F = \Pi + K\beta - Adu/dy, \quad (1.2)$$

$$F = \Pi + K\gamma - Adv/dy.$$

В них знак минус перед последним слагаемым учитывает разгружающее свойство текущего граничного слоя, обусловленное одинаковым направлением действия внешней силы F и вязкой составляющей силы сопротивления движению (см. рис. 1.1).

С учётом соотношения (1.1) для случая линейного распределения скоростей частиц в граничном слое: $du/dy \cong u/h_0$, $dv/dy \cong v/h_0$ — получим приближённую форму уравнений деформирования:

$$F \cong \Pi + K\beta - au, \quad (1.3)$$

$$F \cong \Pi + K\gamma - avu, \quad (1.4)$$

где

$$a = A/h_0 \quad (1.5)$$

— коэффициент объёмной вязкости или просто вязкость граничного слоя. Для констант A , K и Π в обоих случаях здесь приняты одинаковые обозначения, но необходимо иметь в виду, что характеризуют они разные процессы и по величине могут быть различными.

1.3. Уравнение движения частицы

Полученные уравнения пригодны для решения задач механики сплошных или деформируемых сред, которая оперирует с системой бесконечного числа материальных частиц. Чтобы перейти к механике отдельной частицы, вязкую составляющую силы трения представим в следующем виде:

$$A du/dy = (A dt/dy)(du/dt).$$

Здесь слева стоит сила, а величина du/dt характеризует ускорение тела. Коэффициент пропорциональности $(A dt/dy)$ назовём инертной массой m вещества, подвергаемого деформированию или перемещению, полагая её для наглядности пропорциональной суммарной массе частиц граничного слоя:

$$m \equiv Adt/dy \sim \sum_{i=1}^n m_i,$$

где m_i — инертная масса отдельной частицы слоя. Отсюда определяется физический смысл коэффициента кинематической вязкости:

$$A \sim \sum_{i=1}^n m_i dy/dt \sim \sum_{i=1}^n m_i u_y,$$

где u_y — поперечная (в направлении нормали к скорости основного движения) составляющая скорости частиц в граничном слое (см. рис. 1.1). Следовательно природа вязких сил обусловлена наличием помимо продольного также и поперечного импульса частиц в граничном слое, вследствие чего быстро движущиеся частицы при переходе из одной части слоя в другую замедляются, а медленно движущиеся ускоряются. С учётом сказанного уравнение (1.2) представим в форме, пригодной для описания движения отдельных (точечных) объектов в деформируемой среде:

$$F = \Pi + Ku/c - m du/dt. \quad (1.6)$$

В общем случае упругие свойства среды или другого силового поля могут характеризоваться векторной величиной. Тогда, в частности, уравнения (1.2) и (1.6) представят в виде равенства нулю векторной суммы сил, действующих на поток частиц или выделенную частицу:

$$\begin{aligned} \mathbf{F} + \Pi + [\mathbf{u}/c, \mathbf{K}] + Adu/dy &= 0, \\ \mathbf{F} + \Pi + [\mathbf{u}/c, \mathbf{K}] + m du/dt &= 0. \end{aligned} \quad (1.7)$$

При этом необходимо строго отличать реальную внешнюю силу \mathbf{F} от сил внутренних — пластической, упругой и вязкой составляющих реакции рассматриваемой системы на воздействие внешней силы, характеризующей физические свойства этой системы.

Слагаемое $[u/c, K]$ в этих уравнениях задаёт упругую силу в направлении, перпендикулярном основному движению; она обуславливает закрутку потока или частицы при поступательном движении, повсеместно наблюдаемую в реальной жизни. В частных случаях эта сила проявляет себя либо как сила Кориолиса, если речь идёт о нейтральных частицах, либо как магнитная сила, если речь идёт о движении заряда. Полученные уравнения взаимодействия материальных тел и соответствующая им модель по рис. 1.2 используются далее для построения основных разделов физики.

1.4. Законы классической механики

Для замкнутых (изолированных) систем без трения ($\Pi = 0$), описываемых уравнением (1.7), внешняя сила $\mathbf{F} = 0$. Поэтому любая функция, характеризующая систему, производная которой равна или пропорциональна \mathbf{F} , является константой. Из этого непосредственно следует формулировка законов сохранения для полной энергии системы ($dW/dt = \mathbf{F}\mathbf{u}$; $W = \text{Const}$), импульса ($d\mathbf{p}/dt = \mathbf{F}$; $\mathbf{p} = \text{Const}$) и момента импульса ($d\mathbf{L}/dt = [\mathbf{F}, \mathbf{r}]$; $\mathbf{L} = \text{Const}$).

Для нежёстких и слабо деформируемых систем без трения, определяемых условием $[u/c, K] = 0$ и $\Pi = 0$, на основании уравнения (1.7) получаем:

$$\mathbf{F} + mdu/dt = 0 \quad (1.8)$$

или

$$\mathbf{F} = -\mathbf{F}_{\text{ин}}. \quad (1.9)$$

То есть имеем две силы, одна из которых — внешняя — возбуждает ускорение тела

$$\mathbf{F} = mdu/dt, \quad (1.10)$$

в то время как другая сопротивляется ему. Этую последнюю называют силой инерции и определяют соотношением

$$\mathbf{F}_{\text{ин}} = -mdu/dt, \quad (1.11)$$

где m — инертная масса тела. Её направление противоположно направлению вектора ускорения.

При $\mathbf{F} = 0$ из уравнения (1.8) получаем два соотношения

$$mdu/dt = 0; u = \text{Const},$$

которые определяют частный случай движения свободного тела по инерции и утверждают так называемый принцип инерции или первый закон динамики Ньютона: *если на тело не действуют внешние силы, то оно покоятся или движется равномерно и прямолинейно*. При этом из принципа выпадают два практически важных случая движения по инерции: вращение (например, маховика) и вращательно-поступательное движение (качение колеса по плоскости).

Родоначальником принципа инерции справедливо принято считать Галилея. Однако последний, как было сказано, полагал, что движением по инерции является равномерное обращение тела по окружности, идея же о прямолинейном движении по инерции была выдвинута позднее, в частности, её придерживался Декарт [9]. И в нашем случае появляется возможность восстановить историческую справедливость в следующей обобщённой формулировке принципа инерции Галилея: *движение свободного тела в общем случае включает равномерное вращение и равномерное поступательное перемещение*.

Из уравнения (1.7) при $F = 0$ и $\Pi = 0$ для этого случая имеем:

$$[u/c, K] = - mdu/dt. \quad (1.12)$$

Величина, стоящая справа, здесь, как и ранее, характеризует силу инерции, которая в случае вращающегося тела называется центробежной силой инерции; параметр слева характеризует ответную упругую реакцию материала вращающегося твёрдого тела, уравновешивающую указанную центробежную силу инерции.

Соотношение (1.10) подтверждает основной закон динамики или второй закон Ньютона, установленный экспериментальным путём и утверждающий: внешняя сила равна произведению массы тела на ускорение, которое она сообщает телу. В более общем виде его можно выразить так:

$$\mathbf{F} = d(mu)/dt, \quad (1.13)$$

где mu — импульс или количество движения тела. Отсюда устанавливается связь между импульсом силы и импульсом тела:

$$\mathbf{F} dt = d(mu).$$

Соотношение (1.9) составляет содержание третьего закона Ньютона и совместно с последним соотношением утверждает равенство внешнего действия и инерционного противодействия.

1.5. Силы инерции

Подчеркнём принципиально важное: возникновение сил инерции (1.11) и компенсирующих их сил упругости (1.12) есть объективное внутреннее свойство реальных тел, проявляемое при всяком воздействии на них внешней силы или вращающего момента в виде ответной реакции на такое воздействие. Этим наш подход отличается от традиционного, в котором проявление этих сил связывают с выбором неинерциальной системы отсчёта: «Центробежные силы, как и всякие силы инерции, существуют лишь в ускоренно движущихся (вращающихся) системах отсчёта и исчезают при переходе к инерциальным системам» [14].

В последнем случае силам инерции фактически отказывают в реальности, полагая их фиктивными силами, обусловленными ускорением системы отсчёта, в которой сила измеряется. Такая точка зрения расходится с практикой полезного использования сил инерции или борьбы с ними в реальных механизмах. В частности, разрушение быстро вращающегося диска турбины обусловлено именно реальностью возникающих в нём внутренних центробежных сил, и размещение такого диска в инерциальной или какой-либо другой системе отсчёта от этих сил и разрушения диск не спасает.

А авторы другого современного учебники физики на основании реальности сил инерции утверждают возможность использования их для кардинального решения энергетической проблемы: «Для любой системы тел, находящейся в неинерциальной системе отсчёта, силы инерции являются внешними силами; следовательно, здесь нет замкнутых систем, и потому не выполняются законы сохранения»[15]. И в подтверждение «движущего» характера сил инерции приводится такой довод: «если при резком торможении вагона сила инерции бросит вас вперёд, то вы эту силу будете ощущать также реально, как и силу тяжести. Точно также космонавт очень реально чувствует силу инерции, прижимающую его к креслу при разгоне ракеты». При этом забывают, что на находящихся вне вагона или ракеты указанная сила никак не действует. Иными словами, сила инерции в этих и других подобных случаях проявляет себя исключительно как внутренняя сила системы вагон-пассажир или космонавт-ракета, но не как внешняя сила.

1.6. Обобщённый принцип инерции

Движение тел в реальном физическом пространстве осуществляется при наличии и под влиянием внешних и собственных силовых полей различной физической природы, с которыми тела непрерывно обмениваются энергией; в этом суть современной полевой трактовки физических взаимодействий. Чтобы описать такое движение в общем виде, обратимся к частному случаю: движению заряженной частицы во внешнем электромагнитном поле. Оно описывается уравнением

$$\mathbf{F} \pm q[\mathbf{u}, \mathbf{B}] + mdu/dt = 0$$

и осуществляется, как известно, по винтовой траектории с переменной скоростью. Здесь \mathbf{F} — внешняя электрическая сила; $\pm q$ — заряд частицы; \mathbf{u} — скорость частицы; \mathbf{B} — индукция магнитного поля; mdu/dt — сила инерции частицы, обусловленная её массой m и ускорением $du/dt = d^2\mathbf{r}/dt^2$; \mathbf{r} — радиус-вектор траектории. В отсутствие энергообмена с внешней средой имеем некую разновидность движения частицы по инерции ($\mathbf{F} = 0$) с постоянной поступательной скоростью \mathbf{u} и неизменным радиусом винтовой траектории, модуль которого определяется соотношением [8]

$$r = mu/qB.$$

Обобщим последний случай, чтобы включить в него движение свободной частицы с учётом взаимодействия с собственным силовым полем, природа и реальность которого обусловлены наличием у частицы массы или заряда. Для этого введём вектор $\mathbf{K} = \pm qc\mathbf{B}$, где c — мировая константа, характеризующая скорость распространения света в пустоте; в результате имеем обобщённое уравнение Ньютона-Лоренца:

$$[\mathbf{u}/c, \mathbf{K}] + mdu/dt = 0. \quad (1.14)$$

Тем самым мы получили одно общее уравнение, пригодное для описания зарядов и нейтральных частиц, и одновременно задали абсолютную шкалу отсчёта скорости частицы — в долях скорости света.

Теперь первое слагаемое уравнения — обобщённая сила Лоренца — выражает векторную форму закона Гука для упругого деформирования частицей или зарядом собственного силового поля как своеобразной материальной среды (не отождествлять с неподвижным мировым эфиром), в котором \mathbf{K} — модуль упругости (жёсткость) силового поля, u/c — относительная или релятивистская его деформация. Видно, что природа этого деформирования обусловлена конечной

скоростью распространения света в пустоте: при $c = \infty$ упругая сила в уравнении (1.14) исчезает. Радиус траектории определяется теперь соотношением

$$r = tmc/K. \quad (1.15)$$

Таким образом мы снова пришли к определению обобщённого закона инерции (1.12) в виде полевой формы его (1.14), которая провозглашает вращение в качестве природного свойства материальных частиц. При этом открытый де Бройлем корпускулярно-волновой дуализм здесь изначально получает конкретное и наглядное материальное воплощение в системе частица-поле, а классический закон инерции Галилея предстаёт в качестве предельного случая, отвечающего условию слабого влияния силового поля (дорелятивистские скорости) или полного его отсутствия у частицы: при $u \ll c$ или $K = 0$ имеем

$$du/dt = 0, u = \text{Const.}$$

1.7. Модель свободного движения

На основании перестановочного свойства векторного произведения $[u/c, K] = -[K, u/c]$ уравнение (1.14) представим в следующей форме:

$$[iK, iu/c] + tdu/dt = 0; \quad (1.16)$$

здесь введена подстановка $i^2 = -1$, где i — мнимая единица. Схема сил, действующих на свободную частицу согласно уравнениям (1.14) и (1.16), изображена на рис. 1.3. Здесь сложное пространственное движение частицы по винтовой траектории радиуса r представлено в виде комбинации (сложения) двух простых движений с взаимно перпендикулярными и одинаковыми по модулю векторами скорости: плоского или двухмерного вращения вокруг оси ОХ с окружной скоростью $iu = dr/dt = [r, i\omega]$ (рис. 1.3, а) при центростремительном ускорении

$$du/dt = [(iu)^2/r]r^0,$$

где r^0 — единичный радиус-вектор; и одномерного поступательного движения со скоростью $u = idr/dt = [r, \omega]$ (рис. 1.3, б) вдоль оси ОХ. При этом мы обрели возможность вместо уравнений математической физики в частных производных использовать для описания пространственного движения частицы более простой и исключительно удобный аппарат комплексных чисел.

На рис. 1.3 равенство модулей скорости $iu = u$ отражает одно из важнейших свойств природы — изотропию пространства в отсутствие внешних сил и полей. Умножение на мнимую единицу i согласно

известному математическому правилу [16] физически означает поворот вектора на угол $\frac{1}{2}\pi$ в направлении движения. Сечения *a* и *b* изображают положение частицы в моменты, сдвинутые на величину шага $\lambda = 2\pi i r$ винтовой траектории.

Каждому значению скорости частицы на рис. 1.3 отвечает своя траектория движения и величина её радиуса r : чем больше скорость,

тем больше радиус траектории — своеобразной волны деформирования собственного силового поля частицы. Это обстоятель-

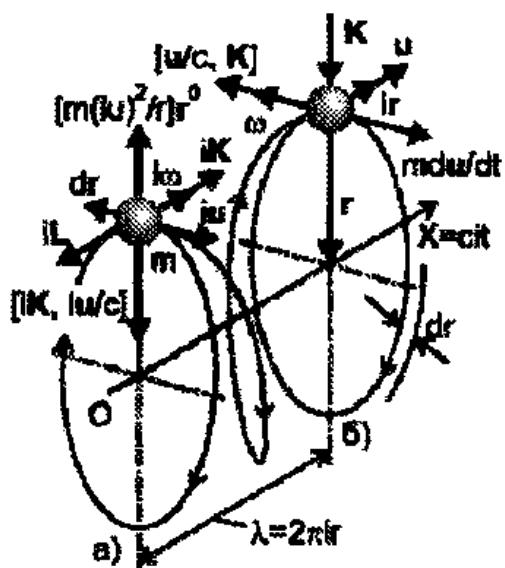


Рис. 1.3. Движение свободной частицы по винтовой (спиралеобразной) траектории может быть представлено в виде комбинации вращения (а) и поступательного перемещения (б)

ство позволяет нам избавиться от эйнштейновского постулата постоянства скорости света, заменив его наглядным и естественным определением с как скорости изменения радиуса траектории самовращения частицы:

$$c = dr/dt = \text{Const}, \quad (1.17)$$

где dr — приращение модуля радиуса-вектора r (см. рис. 1.3, б), t — период обращения частицы. Постоянство и скалярный характер этого параметра в нашем случае отражает простой факт: самовращение частицы или тела в пустоте осуществляется строго по окружности, а радиус-вектор r в этом случае лишается определённой направленности и вырождается в псевдовектор. В результате получаем следующее простое выражение для относительной деформации силового поля:

$$u/c = dir/dr \leq 1. \quad (1.18)$$

Из рис. 1.3, *a* видно, что вращение свободной частицы со скоростью iu приводит к возникновению радиальной вращающейся силы $[iK, iu/c]$, обусловленной упругими свойствами K поля. Эта сила уравновешивает радиальную (центробежную) составляющую силы инерции, связанную с наличием центростремительного ускорения частицы:

$$[iK, iu/c] = [m(iu)^2/r]r^0; \quad (1.19, a)$$

или, раскрывая векторное произведение $[iK, iu/c] = (iK \cdot iu/c) \sin \frac{1}{2}\pi$

($\frac{1}{2}\pi$ — угол между векторами $i\mathbf{K}$ и $i\mathbf{u}$) и сокращая на i^2 , имеем:

$$(u/c)\mathbf{K} = (mu^2/r)\mathbf{r}^0. \quad (1.19, б)$$

А из рис. 1.3, б следует, что поступательное движение частицы порождает циркуляцию силового вектора $[u/c, \mathbf{K}]$, который уравновешивает силу инерции частицы в направлении касательной к окружности вращения

$$(iu/c)\mathbf{K} = mdu/dt, \quad (1.20)$$

где $iu = -r\omega$. Указанные составляющие полной упругой силы и обеспечивают самоподдержание режима свободного винтового движения частицы.

К уравнениям (1.19, б) и (1.20) можно прийти иначе. Запишем исходное обобщённое уравнение Ньютона-Лоренца (1.14) в развернутом виде путём введения определения $\mathbf{u} = [\mathbf{r}, \omega]$ скорости частицы и подсчёта двойного векторного произведения:

$$mdu/dt + (1/c)[\omega(\mathbf{r} \cdot \mathbf{K}) + \mathbf{K}(i\mathbf{r} \cdot i\omega)] = 0.$$

Видим, что уравнения (1.19, б) и (1.20) являются частными случаями этого уравнения: одно реализуется при $\omega(\mathbf{r} \cdot \mathbf{K}) = 0$ и описывает вращение частицы, другое — при $\mathbf{K}(i\mathbf{r} \cdot i\omega) = 0$ и описывает поступательное движение частицы.

Причём оказывается, что во всех случаях: для любой скорости и независимо от характера движения — закон инерции описывается одним и тем же уравнением, включающим упругую и инерционную силы. Сказанное прямо приводит к общему принципу относительности Эйнштейна как следствию: «Общие законы природы должны быть выражены через уравнения, справедливые во всех координатных системах» [17]. А закон (1.14) по этой причине следует причислить к разряду фундаментальных физических законов.

1.8. Глобальный характер вращения

Проблемы движения, пространства-времени и тяготения в виртуальной физике составляют предмет исследований специальной (СТО) и общей (ОТО) теорий относительности Эйнштейна. ОТО описывает движение материальных тел или частиц в гравитационных полях, вблизи массивных космических объектов; СТО — в отсутствие таких полей, на достаточном удалении от их источников. Тем самым утверждается, что эти два вида движения существенно раз-

личны по физическому характеру.

Движение материальной частицы m вблизи гравитационной массы M (ОТО), схема которого представлена на рис. 1.4, является связанным посредством силы тяготения F и осуществляется по инерции вдоль геодезических, простейшим случаем которых является окружность. Такое движение обусловлено неевклидовой геометрией (кривизной) пространства вблизи гравитационной массы M . Как в классической, так и в виртуальной физике указанное движение признаётся абсолютным, т. е. допускающим в принципе возможность измерения истинной скорости вращения частицы [2].

Движение той же частицы m вдали от гравитационной массы M (СТО) определяется как свободное, также осуществляющее по инерции равномерно и прямолинейно согласно первому закону динамики Ньютона. Такое движение признаётся относительным в том смысле, что скорость его может быть измерена исключительно по отношению к скорости другого свободного тела, принимаемого в качестве инерциальной системы отсчёта.

Проведём простой мысленный эксперимент с планетной системой, представленной на упомянутом рисунке, оставаясь в рамках законов классической физики. Будем непрерывно уменьшать силу F , полагая, что тело M излучает энергию-массу в

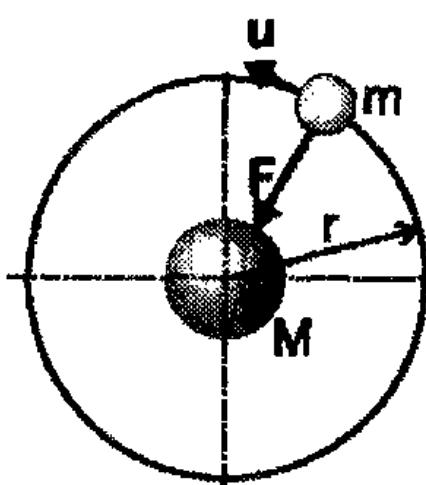


Рис. 1.4. Планетная система

окружающее пространство, заставляя частицу медленно удаляться от центра вращения и уменьшать скорость вращения согласно закону сохранения момента импульса частицы. Очевидно наступит момент, при котором указанная сила практически исчезнет, а частица, став свободной, продолжит, тем не менее, самовращение по удалённой, но той же круговой траектории в силу наличия у неё первоначального сохраняемого момента импульса. Иными словами, в классической механике характер движения связанной и свободной частицы, строго говоря, оказывается одним и тем же — вращательным, изменяются лишь радиус круговой траектории и скорость вращения частицы. Это самый простой и естественный способ снять следующее очевидное противоречие.

Момент импульса — это свойство вращающегося тела по определению. Когда мы говорим о вращении тела, то приписываем ему импульс $p = m\dot{r}$ и момент импульса $L = mir$ конечной величины. А если определяем движение тела как прямолинейное, то имеем в виду нулевое значение момента импульса. Согласно же определению L в этом случае имеем бесконечное его значение; ибо прямолинейное движение есть вращение тела по траектории бесконечного радиуса r , отнюдь не нулевого. Иными словами, для прямолинейного движения не может быть корректно определена важнейшая физическая характеристика тела L . Это означает физический запрет такого движения для объектов, обладающих массой; по-видимому, оно разрешено только для безмассовых фотонов, обладающих предельно возможной, световой скоростью с движения. На рис. 1.3 это нашло своё отражение в том, что прямолинейная траектория движения оказывается представленной мнимой величиной $X = cit$, подобно четвёртой временной координате в СТО Эйнштейна. И это, по-видимому, не случайно.

Таким образом, уже в рамках классической механики мы приходим к необходимости признания глобального характера вращения: оно является не результатом воздействия на материальную частицу внешних, в частности, гравитационных сил, а природным свойством её, обусловленным достоверно не установленными пока причинами. Эйнштейн увидел причину в кривизне пространства-времени, окружающего массивное материальное тело, подменив тем самым физику геометрией. В нашем случае причина имеет физическую природу: упругое (без энергопотребления) взаимодействие материального тела с собственным физическим или силовым полем. Как будет показано в главе 4, это поле имеет магнитную природу, силовые линии его и искривляют пространство-время вблизи массивного тела.

1.9. Абсолютная система отсчёта

Движение материальной частицы чаще всего описывается путём выбора какой-либо внешней системы отсчёта — воображаемого твёрдого тела, относительно которого определяется положение частицы. Общим недостатком таких систем отсчёта является необходимость дополнительного выбора для них какой-либо системы коорди-

нат: прямоугольной (декартовой), цилиндрической, сферической или другой. При этом приходится составлять уравнения движения изучаемого объекта для каждой из трёх или более осей координатной системы. В результате расчёты часто становятся довольно сложными и громоздкими. Причём всякий раз в таких случаях определяется относительное движение объекта, в силу чего изначально и получила распространение концепция относительности всякого движения и принципиальной невозможности выявления движения абсолютного.

Такая точка зрения, на наш взгляд, является ошибочной, поскольку не учитывает всех возможностей так называемой связанной системы отсчёта и векторного выражения в ней параметров движения, которые используются в нашей работе. Связывая систему отсчёта непосредственно с изучаемым движущимся объектом, мы тем самым уничтожаем различие между системой отсчёта и объектом исследования и обретаем возможность оперировать непосредственно физическими величинами, не обращаясь к их выражению через свои проекции в какой-либо конкретной системе координат. Различные соотношения между физическими величинами в векторной форме обычно имеют более простой и менее формальный вид, чем в координатной форме. В частности, вместо трёх уравнений движения в прямоугольной системе координат в связанной системе отсчёта достаточно одного-единственного уравнения в векторной форме, операции с которым существенно упрощаются и становятся физически более наглядными.

Но главная особенность связанной системы отсчёта состоит в том, что не будучи привязанной к внешним объектам, она тем самым отражает абсолютное движение изучаемого объекта и в силу этого может быть названа также абсолютной системой отсчёта. Правда, при этом возникает проблема практического измерения величины абсолютной скорости такого движения или деформаций и/с собственного силового поля объекта, в которую эта скорость входит. Проведению полноценного общего теоретического анализа это не препятствует, а принципиально проблема решается путём измерения параметров ударной волны, возникающей при взаимодействии тела с собственным силовым полем. В главе 6 мы покажем, в частности, что в зависимости от скорости движения частицы или тела изменяется геометрическая форма этой волны.

1.10. Пример. Инерционное «тяговое» устройство

Соотношение (1.13) может быть представлено в виде

$$\mathbf{F} = (dm/dt)\mathbf{u},$$

пригодном для оценки силы тяги реактивного, в частности, ракетного двигателя; здесь \mathbf{u} — скорость истечения газа из реактивного сопла относительно ракеты, dm/dt — секундный расход газа через сопло двигателя. Видно, что реализация больших тяговых усилий в двигателе требует создания на борту ракеты значительных запасов топлива и окислителя. Огромное число инженеров-изобретателей пытаются обойти эту проблему, опираясь на приведённую в п. 1.5 или подобную ей цитату из учебников физики и предлагая для создания тяги использовать неуравновешенную силу инерции. Одна из возможных схем реализации такого устройства представлена на рис. 1.5.

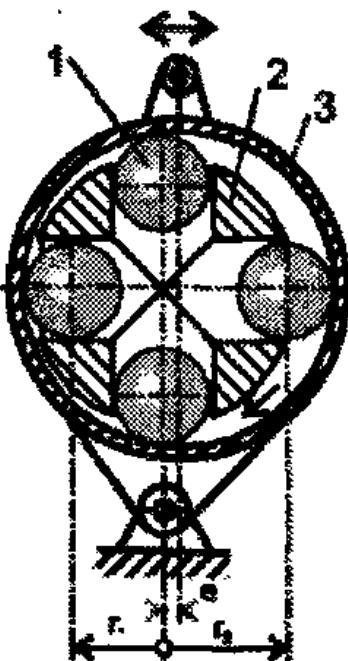
В нём используется центробежная сила, созданная определённым числом грузов 1, приводимых во вращение

Рис. 1.5. Конструктивная схема
инерционного тягового устройства

ротором 2 и удерживаемых на эксцентрической траектории направляющей системой 3, шарнирно закреплённой на борту космического аппарата. Предполагается, что тяговое усилие создаётся за счёт разности центробежных сил $m\omega^2(r_2 - r_1)$ от грузов, тем большей, чем больше их угловая скорость вращения ω и эксцентриситет e .

Движущая сила \mathbf{F} , каковой в данном случае предполагается сила инерции, согласно второму закону Ньютона (1.10) придаёт грузу массой m ускорение dw/dt в направлении своего действия. Таким образом, чтобы определить, может ли интересующая нас сила инерции быть движущей, надо убедиться в том, что она создаёт отличное от нуля ускорение в направлении своего действия.

Соотношения (1.9) и (1.11) это опровергают. Центробежная сила инерции относится к категории так называемых центральных сил.



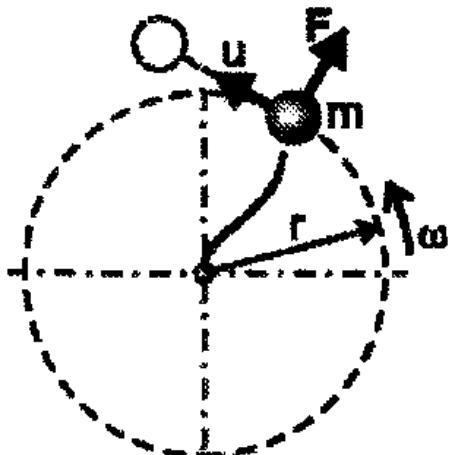
Их линия действия всё время проходит через одну и ту же неподвижную точку — ось вращения. Она не создаёт движения (центробежного ускорения) в направлении своего действия — вдоль радиуса-вектора r . Формально в этом можно убедиться следующим образом. Умножим слагаемые основного уравнения динамики (1.8) векторно на r . Так как векторы F и r коллинеарны, а векторное произведение коллинеарных векторов равно нулю, то в результате получаем

$$0 = [mr, du/dt].$$

При $m \neq 0$ и $r \neq 0$ это означает равенство нулю ускорения du/dt , создаваемого силой инерции в направлении своего действия. Тем самым подтверждается известный факт: вращение тела связано с наличием центростремительного ускорения, центробежного ускорения в природе не бывает.

Физически это понять несложно, если вообразить картину вращения в горизонтальной плоскости груза, подвешенного на нити (рис. 1.6). Положим, что в определённый момент времени нить обрывается. Опыт показывает, что в этом случае груз полетит не в направлении действия силы инерции F (радиальное направление), а по касательной к круговой траектории, в направлении скорости u . Чтобы получить малое движение (импульс) mdu в направлении центробежной силы, последняя должна сообщить грузу

Рис. 1.6. При обрыве нити груз летит в направлении касательной к траектории вращения



импульс $Fdt = mdv$ в том же направлении. Однако в момент обрыва нити центробежная сила исчезает, т.е. время её действия на оторвавшийся груз $dt = 0$. По этой причине отсутствует и движение груза ($mdv = 0$) в направлении действия силы инерции. Иными словами, последняя, будучи силой чисто внутренней, принципиально не может выполнять функции внешней или движущей силы.

Наконец самое важное состоит в следующем: центральная сила по определению не создаёт крутящего момента на оси вращения, поэтому вся энергия вращения ротора в описанном механизме идёт на пре-

одоление сил трения. По мнению разработчиков инерционных движителей это одно из самых замечательных свойств, фактически превращающих эти устройства в источник даровой энергии: они предполагают регулируемое движение аппарата без затрат энергии на его перемещение. Мы же делаем вывод: попытки создания такого рода устройств в конечном счёте входят в противоречие с законом сохранения и превращения энергии или первым законом термодинамики и в силу этого являются совершенно бесплодными.

Выводы к главе 1

- Проблему унификации физических взаимодействий рационально решать на базе единой вязкоупругопластической модели (АКП-системы) деформирования реальных тел. Она позволяет составить два уравнения для описания процессов сжатия и сдвига сплошной среды и одно общее уравнение динамики материальной частицы.
- Принцип инерции в формулировке Ньютона является неполным, поскольку не учитывает возможность инерционного вращения и сложного вращательно-поступательного движения тел по инерции.
- Силы инерции и упругости есть объективное внутреннее свойство реальных тел, проявляемое при всяком воздействии на них внешней силы или вращающего момента в виде ответной реакции на такое воздействие. Они не могут быть использованы в качестве движущих сил, способных производить работу.

* * *

Глава 2. ДВИЖЕНИЕ С ТРЕНИЕМ

Освещаются наиболее сложные вопросы механики сплошной среды: формирование ламинарного и турбулентного течений, количественные законы и эффекты трения, изнашивание поверхностей, возникновение ударных волн.

2.1. Состояние вопроса и постановка задачи

Наука о трении (трибоника) изучает различные аспекты контактного взаимодействия материальных тел — твёрдых, сыпучих, жидких или газообразных — при их относительном движении. Важнейшие из этих аспектов — энергетика процесса взаимодействия и износ контактирующих поверхностей. Они в решающей мере определяют проблему сбережения энергетических и материальных ресурсов на современном этапе научно-технического прогресса. Установлено, что приблизительно от одной трети до половины вырабатываемых в мире энергетических ресурсов теряется в процессе их использования из-за трения. Столь же внушительными являются потери различных материалов на замену изношенных деталей машин.

Изучением причин трения и природы этого явления в разные времена и эпохи занимались самые выдающиеся естествоиспытатели: Аристотель, Леонардо да Винчи, Галилей, Ньютон, Эйлер, Джоуль и многие другие. По трению накоплен обширный и разнообразный теоретический и экспериментальный материал. Тем не менее наука о трении остаётся «белым пятном» в физике, являясь чисто эмпирической. Считается, что в основе процессов трения лежат электромагнитные взаимодействия, однако сколько-нибудь удачных попыток решения проблемы на этом пути пока не отмечалось. Существует даже крайняя точка зрения, согласно которой создание универсальной (общей) теории трения принципиально невозможно. Причём загадочными остаются не только различные явления и эффекты, сопровождающие процесс трения, о которых речь впереди, но и основные количественные соотношения — законы трения Амонтона и Кулона. Ясно, что без удовлетворительного обобщения имеющихся данных по трению не может быть решена и проблема унификации физических взаимодействий в целом.

Очевидно также, что создание общей теории трения возможно только на базе макроскопического описания процессов деформирования граничного или контактного слоя как реальной среды, обладающей свойствами твёрдого тела (упругостью) и жидкости (вязкостью). И такие попытки известны (Б. В. Дерягин, А. Ю. Ишлинский, И. В. Крагельский и др.). В них используются вязкоупругие модели Кёльвина-Фойгта или Максвелла, позволяющие составить дифференциальные уравнения деформирования граничного слоя. Результат интегрирования уравнений обычно представляет собой временные функции, описывающие процесс запаздывания (последействия) деформаций или релаксации (расслабления) напряжений. Однако эти функции мало приспособлены для толкования экспериментальных данных, т. к. последние обычно получают в виде энергетических характеристик, описывающих зависимость силы трения от величины перемещения или скорости деформирования контактного слоя, а не от времени. Если отказаться от традиционного интегрирования исходных дифференциальных уравнений и применить простой подстановочный приём, как это будет показано ниже, то ситуация становится вполне обнадёживающей.

2.2. Течение жидкостей и газов

Для «течения» грунта под воздействием колеса согласно рис. 1.1 характерно увеличение скорости частиц в потоке при удалении от оси ОХ. При течении жидкости или газа по трубе радиуса R (рис. 2.1) имеем обратное распределение скоростей частиц в потоке: при удалении от оси ОХ скорости частиц уменьша-

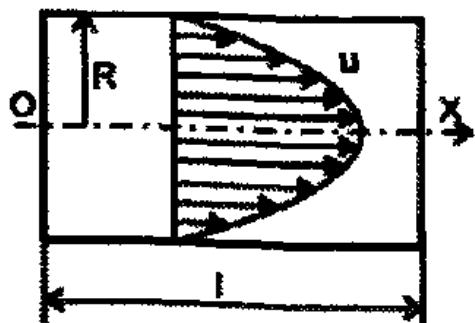


Рис. 2.1. Распределение скорости частиц жидкости или газа при течении в трубе

ются, частицы тормозятся. В этом случае в уравнении (1.2) движения частиц в потоке следует изменить знак при третьем слагаемом правой части. Тогда вместо (1.6) имеем:

$$F = \Pi + Ku/c + mdu/dt.$$

Для легко сжимаемой среды — газа величина модуля упругости K

мала, а относительная деформация u/c велика; для практически несжимаемой среды — жидкости, напротив, u/c мало, а K велико. По этой причине упругая составляющая Ku/c силы сопротивления деформированию должна учитываться всегда — как для газов, так и для жидкостей.

При умножении слагаемых последнего уравнения на dx и интегрировании в пределах от нуля до $x = l$ (длина выделенного участка трубы) для начальных условий $F = 0$, $u = 0$, $du/dt = 0$, $C = \Pi$ после простых преобразований получаем:

$$\Delta p = f_1 u/R^2 + f_2 \rho u^2/2;$$

здесь $\Delta p = (F - \Pi)/\pi R^2$ — перепад давления на выделенном участке трубы, $\pi R^2 l$ — объём жидкости или газа в выделенном участке трубы, $\rho = m/\pi r^2 l$ — плотность среды, $f_1 \approx K/\pi c$ и $f_2 \approx 1,0$ — коэффициенты пропорциональности. Видим, что сила сопротивления течению жидкости или газа обусловлена двумя слагаемыми: первое преобладает при малых числах Рейнольдса (опыты Хагена и Пуазейля) и утверждает линейную зависимость потерь давления в потоке от его скорости; второе — при больших $Re = \rho l u / A$ (опыты А. Дарси) и предлагает квадратичную зависимость потерь напора от скорости потока.

Аналогичная процедура (скалярное умножение на вектор dx и последующее интегрирование) с векторным уравнением (1.7) приводит к исчезновению упругой составляющей $[u/c, K]dx = 0$ из баланса энергии вследствие коллинеарности векторов u и x . В этом случае мы имеем дело с потоком несжимаемой жидкости. Если на такой поток не действуют иные внешние силы, кроме силы тяжести, то в результате преобразований приходим к уравнению Бернулли для несжимаемой (идеальной) жидкости

$$\rho gh + p + \frac{1}{2} \rho u^2 = \text{Const.}$$

Оно определяет закон сохранения энергии вдоль трубы тока: полная энергия текущей жидкости в единице объема определяется суммой потенциальной энергии ρgh , кинетической энергии $\frac{1}{2} \rho u^2$ и статического давления p и сохраняется постоянной; здесь g — ускорение силы тяжести, h — высота рассматриваемого элемента жидкости над расчётным уровнем. При $u = 0$ оно преобразуется в основное уравнение гидростатики

$$\rho gh + p = p_0,$$

где p_0 — уровень отсчёта давления. Для несжимаемой жидкости справедливо также уравнение неразрывности потока

$$s_1 u_1 = s_2 u_2,$$

где s_1 и s_2 — площади рассматриваемых сечений потока, u_1 и u_2 — скорости потока в этих сечениях.

2.3. Границный слой

При скольжении твёрдого тела по опорной поверхности с постоянной скоростью (стационарный режим трения, рис. 1.1, б) сила сопротивления движению постоянна. Иными словами, процесс сдвига грунта происходит при постоянной рассеиваемой мощности $dW/dt = \dot{W} = \text{Const}$. Это даёт право заменить в уравнении (1.4) скорость скольжения тела на отношение мощности к толкающей силе. В этом и состоит упомянутая выше подстановка, которая приводит к квадратному алгебраическому уравнению деформирования границного слоя:

$$F^2 - (\Pi + K\gamma)F + a\gamma\dot{W} = 0. \quad (2.1)$$

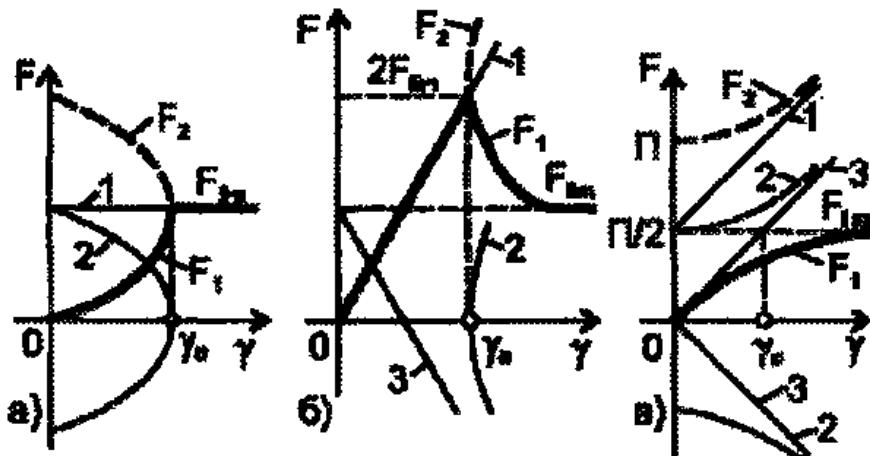


Рис. 2.2. Зависимость силы трения скольжения от относительной деформации для вязкоупругого (а), вязкоупругого (б) и вязкоупругопластического (в) граничного слоя (γ_0 — предварительное смещение тела)

Оно имеет два действительных корня:

$$F_{1,2} = \frac{1}{2}(\Pi + K\gamma) \pm \sqrt{\frac{1}{4}(\Pi + K\gamma)^2 - a\gamma\dot{W}}, \quad (2.2)$$

которые графически представлены на рис. 2.2 в функции деформации $\gamma = v/u$ для условия $\dot{W} = \text{Const}$. При этом графики рис. 2.2, а от-

вечают вязкопластическому характеру сдвига, наблюдаемому при отсутствии упругих свойств контакта ($K = 0$), и представляют собой комбинацию прямой 1 и параболы 2 с горизонтальной осью; предельная сила сдвига $F_{\text{пр}}$ (при $\gamma \rightarrow \infty$) в этом случае равна половине пластической составляющей («чистого» трения). Графики рис. 2.2, б характеризуют вязкоупругий режим сдвига ($\Pi = 0$) и определяются комбинацией прямой 1 и гиперболы 2 с горизонтальной осью и асимптотой 3; здесь величина «пика» или «горба» в два раза превышает предельное значение функции. Графики рис. 2.2, в отражают общий случай, при котором существенны все три составляющие трения, и представляют собой комбинацию прямой 1 и гиперболы 2 с вертикальной осью и асимптотой 3, задаваемой уравнением

$$F_{\text{ac}} = -\frac{1}{2}(\Pi + K\gamma) + a\dot{W}/K.$$

Предельная сила трения в этом случае определяется соотношением

$$F_{\text{пр}} = a\dot{W}/K \leq \frac{1}{2}\Pi, \quad (2.3)$$

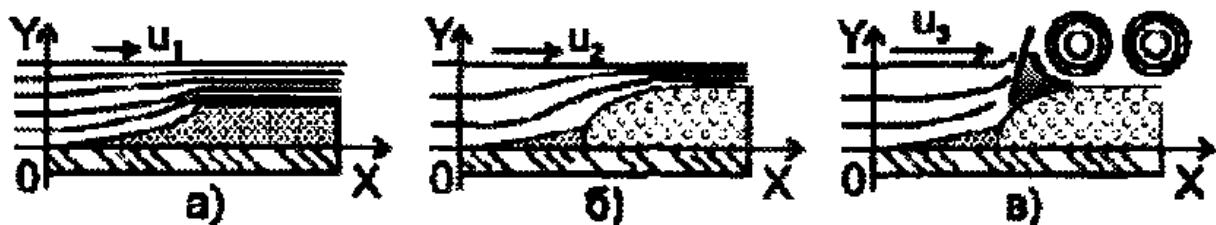


Рис. 2.3. Формирование граничного слоя на поверхности тонкой пластиинки при течении газа с различной скоростью: а — вязкопластический слой с ламинарным режимом течения при малых скоростях газа; б — вязкоупругопластический слой со слабо турбулентным течением при околозвуковых скоростях газа; в — вязкоупругий слой с сильно турбулентным течением и образованием мощных вихрей при сверхзвуковых скоростях газа

которое входит в уравнение асимптоты. Она тем больше, чем значительно вязкость и меньше жесткость граничного слоя, но не может превышать половину пластической составляющей, в противном случае подкоренное выражение в (2.2) становится отрицательным. Функциям $F_1(\gamma)$ отвечают отрицательные значения радикала в соотношении (2.2) и жирные линии графиков, функциям $F_2(\gamma)$ — положительные значения радикала и пунктирные линии графиков.

Полученный результат позволяет объяснить структуру гранично-

го слоя (рис. 2.3), которая проявляется на теневых фотографиях процесса торможения частиц воздуха вблизи поверхности тонкой пластиинки, обтекаемой потоком. Эти фотографии показывают, что при различных скоростях потока характер движения и распределение скоростей частиц по его высоте определяется непосредственно комбинацией изображённых на рис. 2.2 кривых сдвига.

На рис. 2.3, *a* изображён вязкопластический граничный слой с распределением скоростей частиц и нарастанием толщины по закону параболы, называемый ламинарным или течением Хагена-Пузейля. Для него характерно чёткое разграничение слоёв с различными скоростями частиц: от нуля на поверхности пластины до максимальной, равной скорости набегающего потока, на внешней границе слоя.

На рис. 2.3, *б* изображено формирование турбулентного течения в слое при дозвуковом режиме обтекания пластиинки, которое представляет собой комбинацию «срезанного» вязкопластического подслоя (ламинарное течение на начальном участке) с вязкоупругопластическим (турбулентным течением), изображённым на рис. 2.2, *в*. Вследствие упругости в толще граничного слоя возникают поперечные колебания (движения) отдельных его составляющих, приводящие к их перемешиванию и образованию слабых вихрей.

При дальнейшем увеличении скорости набегающего потока — до критической и выше — течение граничного слоя ещё более турбулизируется и внутри него появляются мощные вихреобразования. На рис. 2.3, *в* показано, что в этом случае профиль скоростей частиц и закон нарастания толщины граничного слоя задаются комбинацией ламинарного подслоя с вязкоупругим слоем, изображённым на рис. 2.2, *б*. Для течения характерно наличие «пика» или скачка уплотнения, называемого λ -скакком, который и генерирует указанные вихри.

2.4. Законы трения скольжения

Многочисленные опыты по трению твёрдых поверхностей и испытанию образцов грунта на сдвиг показывают, что в природе реализуются только представленные на рис. 2.2 зависимости типа $F_1(\gamma)$. Второй корень уравнения (2.2) реализуется при мощности, равной нулю, и утверждает простую истину: сила трения покоя равна пластической составляющей или силе «чистого» внешнего трения. При-

чём оказывается [18], что острый «пик» кривой сдвига $F_1(\gamma)$, наблюдаемый при малом давлении на контакте (идеальный вязкоупругий контакт), сглаживается по мере повышения нормального давления и при вязкоупругопластическом контакте полностью исчезает; это обстоятельство отражено на рис. 2.4 слева и в полной мере согласуется с полученным здесь теоретическим результатом. Справа показано перестроение этих кривых в кривые зависимости силы или коэффициента трения $f = F/N$ от нормального давления на контакте. Прямая ОА задаёт изменение предельных значений силы трения, прямая ОБ показывает изменение «пиковых» значений силы для идеального вязкоупругого контакта. В промежутке между этими прямыми, на линии ВГ располагаются сглаженные «пики» кривых сдвига.

Таким образом, максимальные (табличные) значения силы трения задаются ломаной жирной линией ОВГА и образуют на поле нижнего графика три характерные зоны: две зоны Амонтона (зоны I низкого

и III высокого давления), характеризуемые постоянством коэффициента трения, и одну зону Кулона (зона II среднего давления), в которой при увеличении нор-

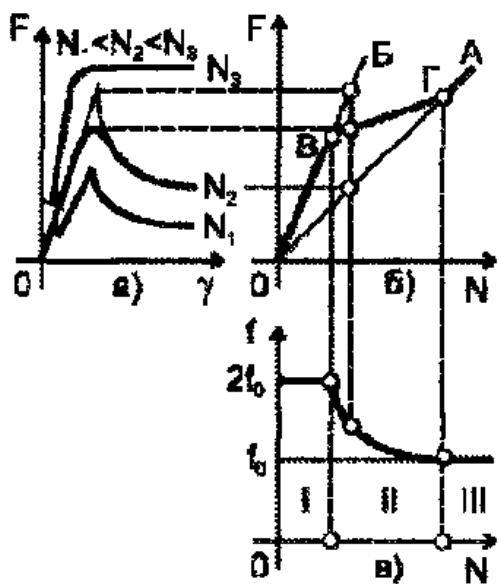


Рис. 2.4. Характеристики сдвига граничного слоя и обусловленные ими законы трения Амонтона (зоны I и III) и Кулона (зона II)

мального давления на контакте коэффициент трения уменьшается по гиперболическому закону. Эта картина отличается от известной, предложенной И. В. Крагельским [19], наличием зоны низкого давления с максимальным значением коэффициента трения, в два раза превышающим минимальное f_0 .

Скорость v частиц в потоке граничного слоя (см. рис. 1.1, б) не может превышать величину u скорости скольжения тела. При малых значениях u величина v того же порядка, при больших из-за наличия инерционных сил в граничном слое может существенно от неё отличаться. Таким образом, при изменении скорости скольжения в диапазоне $u = 0 \dots \infty$ отношение v/u может изменяться в пределах от едини-

цы до нуля. Полагая это отношение непрерывной и монотонной функцией параметра u , приходим к следующему её выражению:

$$v/u = e^{-\delta u}.$$

Здесь показатель δ характеризует степень инерционного запаздывания граничного слоя от скользящего тела; при $\delta = 0$ никакого запаздывания нет, $v = u$, граничный слой «прилипает» к поверхности скользящего тела, что характерно для идеально вязкого граничного слоя — жидкости, газа. При сухом и граничном трении, когда в граничном слое преобладают относительно тяжёлые металлические или другие частицы ($\delta \neq 0$), может наблюдаться его запаздывание, тем большее, чем выше скорость скольжения тела.

Решая последнее соотношение совместно с (1.4), получаем следующую зависимость силы трения от скорости скольжения тела:

$$\begin{aligned} F(u) &= \Pi \text{ при } u = 0, \\ F(u) &= (K - au)^{-\delta u} \text{ при } u \neq 0. \end{aligned}$$

По причинам, изложенным ниже, здесь разделены режимы покоя и движения. В зависимости от конкретных значений парамет-

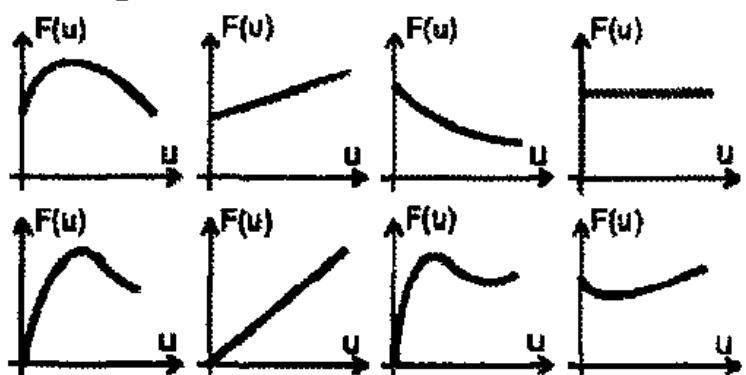


Рис. 2.5. Скоростные характеристики силы трения скольжения твёрдых тел

ров K , a и δ при увеличении скорости скольжения функция $F(u)$ может непрерывно возрастать, непрерывно убывать, иметь минимум или максимум (рис. 2.5). Тем самым она способна описать всё многообразие скоростных характеристик трения, встречающихся в инженерной практике.

2.5. Трение качения и ударные волны

Для стационарного режима качения колеса (см. рис. 1.1, а) от уравнения (1.3) путём подстановки в него значения $u = \dot{W}/F$ приходим к квадратному алгебраическому уравнению сжатия грунта:

$$F^2 - (\Pi + K\beta)F + a\dot{W} = 0.$$

Оно имеет два действительных корня:

$$F_{1,2} = \frac{1}{2}(\Pi + K\beta) \pm \sqrt{\frac{1}{4}(\Pi + K\beta)^2 - a\dot{W}}, \quad (2.4)$$

представляющих собой комбинацию прямой линии 1 (первое слагаемое) и семейства гипербол 2 (второе слагаемое), задаваемого величиной параметра $a\dot{W}$. На рис. 2.6 полученные решения представлены графически в прямоугольных координатах для одного значения параметра $a\dot{W}$. Абсцисса $\beta = u/c$ за-

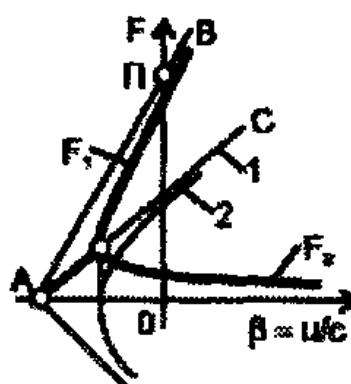


Рис. 2.6. Распределение напряжений в грунте при качении колеса

даёт некоторую безразмерную длину, откладываемую от положения тела в направлении движения ($\beta < 0$) или против него ($\beta > 0$); тем самым учтено, что деформации сжатия грунта противодействуют движению колеса. Значению $a\dot{W} = 0$ отвечают прямые $F_1 = \Pi + K\beta$ и $F_2 = 0$ (ось абсцисс), являющиеся асимптотами гипербол. Имеется ограничение на предельное значение параметра

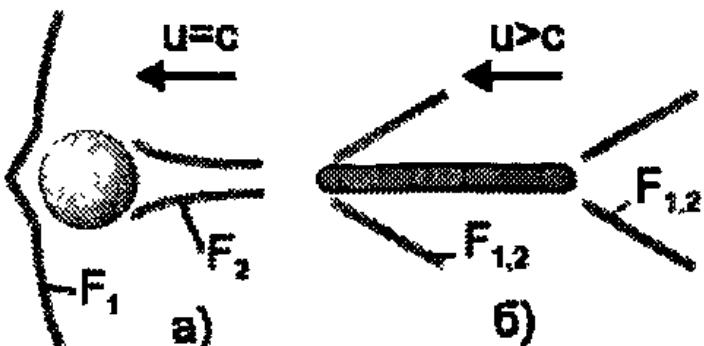
$$a\dot{W} \leq \frac{1}{4}(\Pi + K\beta)^2,$$

которому отвечает равенство нулю подкоренного выражения в (2.4). При таком режиме движения оба корня становятся одинаковыми и равными предельному значению силы

$$F_{\text{пр}} = \frac{1}{2}(\Pi + K\beta). \quad (2.5)$$

На рис. 2.6 этому решению отвечает прямая линия AC, на которой располагаются вершины гипербол.

Рис. 2.7. Возникновение ударных волн при обтекании тела дозвуковым (а) и сверхзвуковым (б) потоком газа



Функция $F(\beta)$ задаёт систему ударных волн, которая формируется в среде в окрестности деформатора. Чтобы убедиться в этом, обратимся к деформированию газов, которое можно наблюдать и фотографировать при продувке моделей в аэродинамической трубе. На рис. 2.7, а показано формирование головной ударной волны

(прямого отсоединённого скачка уплотнения) и кормового следа при обтекании шара околозвуковым потоком, которому отвечает изображённая на рис. 2.6 характеристика вязкоупругопластического режима трения или сжатия среды. На рис. 2.7, б изображено возникновение веера косых ударных волн при обтекании тонкой пластинки сверхзвуковым потоком, которому соответствует характеристика вязкоупругого взаимодействия, отвечающая уравнению (2.5) при $\Pi \ll K\beta$. Обе картины близки к привычным, описываемым в обширной литературе по аэродинамике, и свидетельствуют об удачном выборе исходной расчётной модели деформирования реальных тел. Аналогичные картины ударных волн зарегистрированы вблизи Земли и других планет Солнечной системы.

2.6. Тонкие эффекты трения

Одна из давнишних загадок науки — существование двух различных видов трения: покоя и движения, причём сила трения движения чаще всего оказывается меньше силы трения покоя. Два корня (2.2) квадратного уравнения и полученное для вязкоупругопластического контакта ограничение (2.3) на величину предельной силы трения строго объясняют это явление.

Другой феномен трения — наличие так называемого предварительного смещения γ_0 при переходе от неподвижного контакта к скользящему, экспериментально обнаруженное в 1926 г. А. В. Верховским (СССР) и Дж. Ренкином (Великобритания). Суть его в том, что сила трения при перемещении тела всегда начинается с нулевого значения, как это показано на графиках рис. 2.2, а пластическая составляющая в этот момент куда-то исчезает. Модель, представленная на рис. 1.2, помогает разобраться в этом явлении. Причина скрыта в наличии вязкого элемента: исключим его из модели или уравнения (1.4) и получим прямую, начинающуюся не из нуля, а из точки, определяющей силу трения покоя. Однако такой характеристики трения в экспериментальной практике никогда не наблюдается.

Таким образом, вязкое течение граничного слоя нейтрализует силу трения покоя подобно тому, как это наблюдается при установке катков между телом и опорой, когда сила трения скольжения заменяется силой трения качения. Эту нейтрализацию можно наблюдать и

воочию: если автомобиль стоит на скользкой дороге неподвижно, требуется значительное усилие, чтобы сдвинуть его в поперечном направлении; если же он «буксует», то указанная операция не составляет труда и при малейшем поперечном уклоне он сам сползает в сторону («плывёт»).

Ещё одна любопытная и важная деталь: корень (2.2) не даёт вещественных значений для чисто вязкого или упругопластического контактов. В первом случае подкоренное выражение становится отрицательным, во втором сила трения равна нулю. Отсюда следует вывод: чисто вязкого трения скольжения, равно как и трения скольжения в отсутствие вязких сил, в природе не существует. На первый взгляд, такой вывод является странным, поскольку в практике мы привыкли считаться с вязкостью только при больших скоростях деформирования тел, в частности грунта. Обратившись к определению (1.5), видим, что вязкость тем выше, чем меньше толщина слоя, в котором развиваются деформации сдвига. По-видимому, возможны случаи, когда последние проявляются на молекуляр-

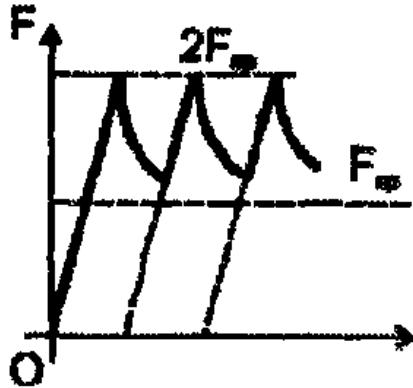


Рис. 2.8. Зависимость силы трения от деформации граничного слоя (перемещения тела) при скачкообразном режиме скольжения

ном уровне, при толщине слоя, близкой к нулю, и вследствие этого влияние вязкости можетказываться даже при «ползущих» скоростях деформирования. В строительной механике грунтов, например, распространены испытания на сдвиг при скоростях, равных нескольким сантиметрам в сутки. Однако и в этом случае кривые сопротивление-деформация имеют предварительное смещение и характерный «горб» [20], свидетельствующие в пользу вязкоупругого характера течения грунтов.

При некоторых условиях трения наблюдается скачкообразное движение тел, природу которого также легко объяснить, привлекая модель вязкоупругого контакта тел. На рис. 2.8 показана кривая сдвига при скачкообразном перемещении тела с остановками и первым большим скачком, которая чаще всего встречается в практике. Видно, что она представляет собой результат простого наложения

характеристик сдвига по рис. 2.2, б.

Известно, что понятия «твёрдое» или «жидкое» тело не являются абсолютными. Поэтому любые тела являются вязкоупругими, а проявление тех или иных свойств зависит от скорости деформирования. Вода, например, проявляет упругость при весьма кратковременных воздействиях большой силы. В битуме свойства жидкого и твёрдого вещества выражены примерно в равной степени. Шарик битума, положенный на стол, постепенно расплывается под действием собственных сил тяжести (течёт подобно жидкости). При ударе молотком тот же шарик раскалывается как хрупкое твёрдое тело. Выражение (2.3) для предельной силы трения позволяет облечь это свойство вязкоупругих тел в физический закон при подстановке в него значения мощности как произведения силы трения на скорость движения:

$$-au = K.$$

Принципиально важным является случай равенства сил трения нулю при полном отсутствии вязкости (упругопластический контакт). Он «разрешает» такие известные явления, как сверхтекучесть гелия вблизи абсолютного нуля температур, экспериментально обнаруженную в 1938 г. П. Л. Капицей, или эффект сверхнизкого трения некоторых тел в условиях глубокого вакуума при облучении пучком атомов гелия. Кроме того, это обстоятельство прямо указывает на вязкость как единственную причину трения движения и сопутствующих ему явлений. Существует только трение, обусловленное вязкостью, и никакого другого, ибо в её отсутствие внешнее трение (пластичность) и упругие силы эффекта трения не создают; внешнее трение проявляется только в состоянии покоя.

2.7. Изнашивание

Механизм изнашивания деталей машин традиционно исследуется на микроскопическом уровне. Это объясняется большим влиянием на изнашивание физико-химических процессов на контакте, нежели механических характеристик деформирования граничного слоя. Тем не менее результаты, полученные выше на основе макроскопической модели трения, могут оказаться весьма полезными и в данном случае. Между интенсивностью изнашивания деталей и величиной силы или коэффициента трения, как правило, существует прямая и естественная связь.

венная связь. Поэтому знание законов трения позволяет прогнозировать, правда, в самом общем виде, мероприятия по уменьшению изнашивания деталей машин.

Зависимость рис. 2.4, б силы трения от давления на контакте и формула (2.3) показывают, что для снижения интенсивности изнашивания следует уменьшать нормальную нагрузку на контакте, снижать вязкость граничного слоя, увеличивать модуль его упругости. Первое достигается увеличением площади контакта, второе — за счёт подвода смазки к трущимся поверхностям, третье — путём увеличения твёрдости контактируемых поверхностей. Эти мероприятия традиционно используются для уменьшения изнашивания.

Обратимся теперь к зависимости коэффициента трения от нормального давления на контакте (рис. 2.4, в). Она показывает, что чрезмерное уменьшение давления, напротив, может привести к увеличению изнашивания. Отсюда следует важный для практики вывод: узлы трения машин необходимо конструировать таким образом, чтобы при всех режимах работы контактный слой не становился вязкоупругим.

Для последнего, как видно из рис. 2.2, б и рис. 2.3, в, характерно наличие скачка давления (уплотнения) и течение граничного слоя с образованием вихрей. Это обстоятельство, по-видимому, и определяет появление характерных усталостных трещин, вызывающих высокую интенсивность изнашивания. Наглядным примером служит изнашивание протектора автомобильных шин: сначала на них появляются поперечные риски или небольшие трещины, затем процесс изнашивания сопровождается образованием характерных микророликов («вихрей»), а на конечной стадии вся поверхность шины покрывается сетью параллельных гребешков («горбов»), расположенных под прямым углом к беговой дорожке.

Для вязкоупругопластического контакта (рис. 2.2, в и 2.3, б) также характерна турбулентность, перемешивание частиц граничного слоя. Следовательно, и в этом случае трение будет сопровождаться изнашиванием. Однако протекает этот процесс менее интенсивно, без образования вихрей и усталостных трещин. Это самый распространённый в узлах трения тип изнашивания, он реализуется при средних давлениях на контакте.

Кардинально проблема изнашивания деталей машин решается, по-видимому, при полном устранении или подавлении упругости контакта и создании условий для ламинарного (слоистого) течения граничного слоя по рис. 2.2, *a* и рис. 2.3, *a*. В этом случае частицы граничного слоя не перемещаются по высоте его, удерживаясь каждой на своём уровне. Следовательно, принципиально исчезают условия для износа — отрыва и переноса частиц с одной поверхности на другую или уноса их потоком граничного слоя (смазкой). Описанный макроскопический механизм «безизносного» трения уже известен и на микроскопическом уровне определяется как явление избирательного переноса. Сегодня он широко используется в технике и продолжает интенсивно исследоваться в научных лабораториях. Вязкоупругопластическая концепция трения, несомненно, может способствовать успеху этих исследований.

2.8. Пример. Энергетика машинно-тракторного агрегата

Покажем, что представленная на рис. 1.2 базовая физическая модель деформирования реальных тел способна описать все важнейшие случаи взаимодействия системы деформатор-грунт, в частности, применительно к тракторам и сельскохозяйственным машинам [21] – [24].

Механизм образования колеи. При качении колеса по деформируемому основанию вертикальная нагрузка (среднее давление q) на грунт остаётся постоянной. Она уравновешивается вертикальной составляющей реакции грунта так, что согласно модели рис. 1.2 имеем:

$$q = \Pi/s + Kh + au,$$

где глубина колеи h определяет нормальные деформации β в грунте.

При малых приращениях dh глубины колеи или скорости du деформирования значения $d(\Pi/s)$ и dq равны нулю. Поэтому справедливо также следующее уравнение:

$$Kh + adu = 0.$$

Имея в виду, что вязкость a пропорциональна нормальному давлению Kh в грунте, а u — скорости v качения колеса, приходим к дифференциальному уравнению с разделяющимися переменными

$$dh + c_1 h dv = 0,$$

где c_1 — коэффициент пропорциональности. Решением его является экспонента

$$h = h_0 \exp(-c_1 v), \quad (2.6)$$

в которой глубина колеи h_0 соответствует режиму $v = 0$ и подсчитывается по соотношению Гука.

Сила сопротивления перекатыванию колеса определяется горизонтальной составляющей реакции грунта. При качении колеса без скольжения ($\Pi = 0$) она тем больше, чем больше сумма нормальных $\sigma \sim h$ и касательных $\tau \sim hv$ напряжений, умноженной на площадь $s \sim h$ деформатора. В результате для силы сопротивления перекатыванию имеем $P_f \sim h^2(1 + c_2v)$, где c_2 — коэффициент пропорциональности. Для коэффициента сопротивления перекатыванию колеса $f = P_f/gM$, где gM — вертикальная нагрузка на колесо от массы M при ускорении силы тяжести g . С учётом (2.6) получим

$$f = f_0(1 + c_2v) \exp(-2c_1v);$$

здесь f_0 — значение его для режима $v = 0$. А потери мощности от колеобразования (на перекатывание колеса)

$$N_f = fgMv = f_0 gMv(1 + c_2v) \exp(-2c_1v). \quad (2.7)$$

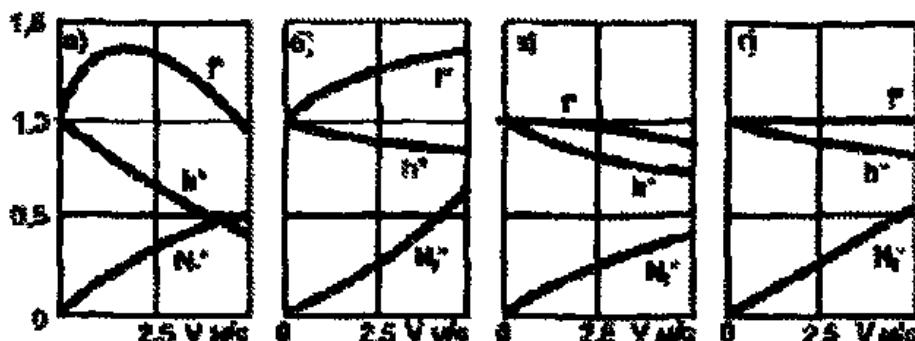


Рис. 2.9. Зависимость параметров колеобразования от рабочей скорости трактора:

- а) при $c_1 = 0,05, c_2 = 0,25$; б) при $c_1 = 0,1, c_2 = 0,05$;
- в) при $c_1 = 0,02, c_2 = 0,01$; г) при $c_1 = 0,01, c_2 = 0,03$.

По уравнениям (2.6) – (2.7) на рис. 2.9 построены зависимости от скорости трактора относительных значений глубины колеи $h^* = h/h_0$, коэффициента сопротивления перекатыванию $f^* = f/f_0$ и потеря мощности на колеобразование $N_f^* = N_f/N_e$, где N_e — эффективная мощность трактора, для значений $f_0 = 0,15$ и $M/N_e = 68$ кг/кВт. Представлены все характерные случаи изменения коэффициента f^* , имевшие место в практике научных исследований. В зависимости от условий,

определяемых значениями коэффициентов c_1 и c_2 , значение f^* в диапазоне изменения рабочей скорости от нуля до 5 м/сек может иметь максимум, возрастать, убывать или оставаться постоянным. При этом относительные потери мощности N_f^* с увеличением рабочей скорости непрерывно возрастают по закону, близкому к линейному.

К последнему выводу можно прийти формально, разлагая функцию (2.7) в ряд Тейлора и ограничиваясь для её приближённого вычисления первым членом ряда. В результате получим следующее соотношение для КПД, учитывающего потери мощности на колеебразование

$$\eta_f = 1 - N_f^* = 1 - g f_0 v M / N_e.$$

Анализ реальных тяговых характеристик показал, что оно применимо как для колёсных, так и для гусеничных тракторов.

Буксование трактора. При агрегатировании трактора рабочим орудием, например, плугом зависимость $D(\delta)$ удельной касательной силы тяги от буксования в рабочем диапазоне нагрузок принимается линейной

$$D = (K l^* b^* t / 2q) \delta; \quad (2.8)$$

здесь l^* и b^* — высота и ширина грунтозацепов ходового аппарата трактора, выраженная в долях расстояния t между ними.

Раскрывая величину $D = \eta_m N_e / g M v$, и заменяя в ней теоретическую скорость v , на рабочую v , получим приближённое выражение для КПД, учитывающего потери мощности вследствие буксования (потерь скорости) трактора

$$\eta_\delta = 1 - \delta \cong 1 - 2q\eta_m N_e / K l^* b^* t g M v,$$

где η_m учитывает механические потери в трансмиссии и гусенице трактора. Выражая далее величину $g M$ через произведение q_s среднего давления на грунт и опорной площади ходового аппарата, получим

$$\eta_\delta \cong 1 - 2\eta_m N_e / K l^* b^* t s v.$$

Последнее соотношение указывает эффективный путь снижения буксования ведущих колёс трактора и связанного с ним вредного воздействия на почву — снижение удельной (на единицу опорной площади ходового аппарата) мощности N_e / s , например, путём установки сдвоенных колёс.

Помимо потерь скорости процесс буксования трактора сопровождается уменьшением касательной силы тяги вследствие вязкости a грунта. Величину этого уменьшения можно определить на основании

модели рис. 1.2

$$P_a = ab^* dv_t g M / q.$$

При скорости буксования $u = dv_t$ ему соответствуют потери мощности

$$N_a = P_a u = ab^*(dv_t)^2 g M / q.$$

В отсутствие этих потерь выполнялось бы равенство

$$\eta_m N_e = D g M y_t,$$

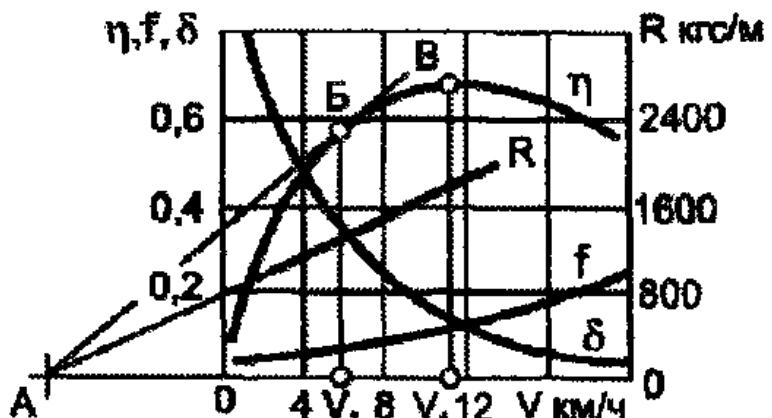
Решая совместно два последних соотношения с учётом (2.8), получим выражение для КПД, учитывающего потери мощности вследствие вязкости грунта

$$\eta_a = 1 - N_a / N_e = 1 - a q \eta_m^2 N_e / (K l^* t)^2 b^* g M.$$

Пахотный агрегат. Полученные уравнения указывают на различный характер влияния скорости и удельной мощности

Рис. 2.10. Оптимальные рабочие скорости при пахоте тяжёлых почв колёсным трактором

трактора на величины составляющих тягового КПД



$$\eta = \eta_m \eta_f \eta_\delta \eta_a.$$

Это свидетельствует о существовании оптимальных значений v_1 , при которых тяговый КПД имеет максимум. На рис. 2.10 даётся пример построения потенциальной скоростной характеристики $\eta(v)$ для трактора Т-150К.

Для нахождения оптимального скоростного режима пахотного агрегата необходимо найти максимум функции $\eta \eta_{pl}(v)$. Надёжных данных об изменении КПД плуга от скорости нет. Поэтому на практике задача нахождения оптимальной по производительности рабочей скорости v_2 пахотного агрегата решается с использованием зависимости $R(v)$ силы сопротивления плуга от скорости и сводится к следующим графическим построениям (см. рис. 2.10):

- прямую $R(v)$, изображающую зависимость сопротивления плуга от скорости, продолжают до пересечения с осью абсцисс в точке А;
- из точки А проводят касательную к линии $\eta(v)$ — зависимости тягового КПД трактора от скорости.

Найденная таким образом точка касания Б на кривой $\eta(v)$ и определяет оптимальный скоростной режим агрегата [23].

Основной вывод из приведённых здесь рассуждений сводится к известному из практики факту о несовпадении режимов максимальной производительности агрегата с режимом максимального тягового КПД трактора: первый всегда смещён по отношению к второму в зону меньших рабочих скоростей и больших тяговых усилий. В частности, для представленного случая скорость, соответствующая максимуму тягового КПД, равна 11 км/ч, а оптимальная скорость по производительности — лишь 6 км/ч.

Как видно из рис. 2.10, для колёсного трактора режиму оптимальной по производительности скорости $v_2 = 6$ км/ч соответствует величина буксования $\delta \approx 35\%$. Такое буксование трактора недопустимо, поскольку связано с плохой устойчивостью его прямолинейного движения, интенсивным износом шин и чрезмерным разрушением структуры почвы. Поэтому на практике режим оптимальной рабочей скорости может быть реализован далеко не всегда.

Выводы к главе 2

- Общая теория трения может быть построена на базе вязкоупругопластической модели деформирования реальных тел при сжатии и сдвиге.
- Такая модель хорошо объясняет «загадочные» явления трения: уменьшение силы трения при переходе тела из состояния покоя к режиму скольжения, эффект предварительного смещения тел при трении или скачкообразный характер их движения при малых скоростях скольжения.
- При этом получают ясный физический смысл количественные законы трения Кулона и Амонтона; приобретают чёткую геометрическую интерпретацию режимы ламинарного и турбулентного течения жидкости или возникновение скачков уплотнения в газовых потоках; с новой стороны предстают такие важные аспекты изнашивания труящихся поверхностей, как возникновение усталостных трещин на поверхностях или условия безизносного трения (избирательного переноса).

Глава 3. РЕЛЯТИВИСТСКАЯ МЕХАНИКА И ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ

На базе обобщённой формы закона инерции и модели свободного движения материальной частицы подтверждается трёхмерная структура реального пространства-времени; релятивистские эффекты: увеличение массы частицы, деформирование длии и времени — представляются как результат упругого взаимодействия частицы с собственным силовым полем; выявляется физическая природа тёмной материи, античастиц и закона Хаббла

3.1. Постановка задачи

На непоследовательное построение СТО Эйнштейна впервые обратил внимание Анри Пуанкаре. Она выдвигает на первое место пространственно-временной аспект (релятивистскую кинематику), подчиняя ему законы движения физических объектов (релятивистскую динамику). Пуанкаре, напротив, считал первичным релятивистскую динамику и в силу этого не признавал теории Эйнштейна. Впоследствии Эйнштейн сам указал на недостаток принятого им построения теории. «Можно заметить, — писал он, — что теория вводит (помимо четырёхмерного пространства) два рода физических предметов.... Это в известном смысле нелогично; собственно говоря, теорию масштабов и часов следовало бы выводить из решения основного уравнения (учитывая, что эти предметы имеют атомную структуру и движутся), а не считать независимой от них» [25]. К этому следует добавить, что слабость кинематической основы СТО усугубляется игнорированием важного посредника между материальным телом и пространством-временем. Этот посредник — физические или силовые поля, окружающие тело, которые также являются материальными структурами с определёнными физическими свойствами.

Таким образом, наша задача состоит в том, чтобы построить согласованную с классической и квантовой механикой релятивистскую теорию движения применительно к врачающимся объектам, т. е. без использования инерциальных систем отсчёта и преобразований Лоренца.

ренца. Только в этом случае область применения её становится практически значимой. А для этого, в свою очередь, свободную материальную частицу следует наделить природной способностью к самовращению. Вопрос в том, как обосновать такую способность — естественное движение «небесного вещества» по Аристотелю, — не входя в противоречие с принципом инерции.

Здесь возможны варианты. Можно обратиться к мировому эфиру или физическому вакууму, наделив их соответствующими свойствами и взяв за аналог сложное вращательно-поступательное движение заряда в магнитном поле. А можно сохранить классическое понятие вакуума как абсолютной пустоты, но распространить такое движение на случай взаимодействия свободной частицы с собственным силовым полем (неоклассическая концепция). Тогда, в частности, различие между движением электрона в сильном магнитном поле и в пустоте при взаимодействии с относительно слабым собственным магнитным полем следует признать чисто количественным.

В главе 1 мы отдали предпочтение последнему варианту по той простой причине, что он не требует введения дополнительных гипотез и постулатов. Напротив, вместе с инерциальными системами отсчёта оказывается невостребованным один из основных постулатов СТО — специальный принцип относительности Эйнштейна. При этом общий принцип относительности подтвердился, обретя статус следствия из теории, а последняя, как мы покажем ниже, радикально упрощается и обогащается новыми результатами. Важнейшими из них являются подтверждение трёхмерной структуры пространства-времени, обоснование космологической гипотезы Большого взрыва и обнаружение так называемой скрытой массы силового поля. Последнее обстоятельство удачно разрешает наиболее актуальную проблему современной теоретической и экспериментальной космологии: выявление физической природы так называемой «тёмной материи».

3.2. Энергия частицы и силового поля

Из уравнения (1.19, б) имеем следующее соотношение:

$$\mathbf{f} = \mathbf{K}r = pcr^0, \quad (3.1)$$

где p — модуль импульса *ти* частицы в направлении поступательной скорости. Физически оно определяет энергию деформирования сило-

вого поля в режиме вращения частицы.

Определим теперь энергию деформирования силового поля в направлении поступательного движения частицы. Для этого умножим слагаемые уравнения (1.20) поступательного движения частицы на скаляр $dr = cdt$; при подстановке $Kdr = d\mathcal{E} = mcdt$ согласно (3.1) в результате интегрирования получаем:

$$pc - iW = i\mathcal{E}_0. \quad (3.2)$$

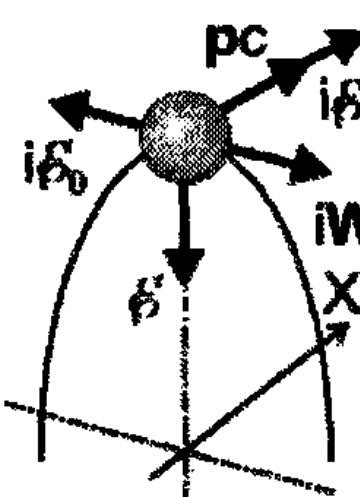
Здесь

$$iW = miu$$

— полная энергия частицы; постоянная интегрирования

$$i\mathcal{E}_0 = im_0 c^2 \omega^0$$

задаёт внутреннюю или собственную энергию частицы и утверждает эквивалентность массы и энергии. Её величина определена для условия $u = 0$ при сохранении импульса $mu \neq 0 = \text{Const}$ и отвечает режиму заторможенного состояния частицы вдоль оси ОХ (см. рис. 1.3) при одновременном вращении с предельной скоростью $iu = ic$. Мы будем называть его режимом относительного или динамического



покоя частицы, в отличие от режима принципиально ненаблюдаемого абсолютного покоя при $u = 0$ и $iu = 0$, а массу m_0 — массой динамически

Рис. 3.1. Составляющие векторного уравнения баланса энергии (3.2)

покоящейся частицы или просто массой покоя частицы. Слагаемые векторы уравнения (3.2) графически представлены на рис. 3.1.

Для перехода от векторных величин к скалярным левую и правую части уравнения (3.2) возведём в квадрат. При учёте взаимной перпендикулярности векторов pc и iW приходим к основному уравнению релятивистской динамики СТО, устанавливающему соотношение между полной энергией частицы, энергией деформирования силового поля и внутренней энергией

$$W^2 = p^2 c^2 + (m_0 c^2)^2. \quad (3.3)$$

При подстановке величин $W^2 = \mathcal{E}^2 (u/c)^2$ и $p^2 c^2 = \mathcal{E}^2$ оно приводится к виду:

$$\mathcal{E}^2 (u/c)^2 - \mathcal{E}^2 = (m_0 c^2)^2$$

или

$$i^2 \beta^2 (1 - u^2/c^2) = (m_0 c^2)^2.$$

Извлекая далее корень квадратный из левой и правой частей последнего уравнения и избавляясь от операторов «плюс-минус» путём их сокращения, приходим к несимметричному — только положительно-му — решению для полной энергии системы частица-поле

$$i\beta = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - u^2/c^2}}. \quad (3.4)$$

вектор $i\beta$ которой совпадает по направлению с вектором поступательной скорости частицы (см. рис. 3.1). Соотношение указывает на неограниченный рост величины энергии, потребной для разгона частицы до световой скорости, наблюдаемый на практике при исследований на ускорителях заряженных частиц. Ясно, что параметры $i\beta$ и $i\beta_0$ не могут быть непосредственно измерены: они представляют собой мнимые величины и характеризуют скрытую энергию частицы- поля.

Для малых скоростей частицы ($u \ll c$) соотношение (3.4) может быть представлено в приближённой форме:

$$i\beta \approx m_0 c^2 + \frac{1}{2} m_0 u^2 + \dots \quad (3.5)$$

Оно показывает, что в этом режиме полная энергия системы определяется суммой внутренней и кинетической энергии частицы; энергия силового поля вследствие малых величин деформирования существенной роли не играет.

3.3. Проблема отрицательной энергии и антиматерии

Решение аналогичной задачи привело П. Дирака в 1930 году к «открытию» частицы с отрицательной энергией (позитрона) и последующей за этим космологической проблеме антивещества и антимирров. В его работе [1] читаем: «Вопрос об отрицательных энергиях возник из изучения движения частицы сообразно частному принципу относительности. В нерелятивистской механике энергия W частицы задаётся в функции её скорости u или же количества движения p формулой

$$W = \frac{1}{2} m u^2 = p^2/2m,$$

чему отвечают всегда положительные W ; однако в релятивистской механике требуется заменить эти формулы на

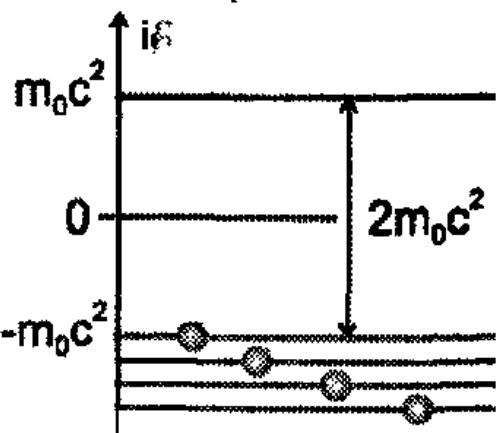
$$W^2 = m^2 c^4 + c^2 p^2, \quad (*)$$

или

$$W = c\sqrt{m^2c^2 + p^2},$$

что позволяет энергии W быть как положительной так и отрицательной. [Заметим, что здесь выражение (*)

Рис. 3.2. Электроны на уровнях с отрицательной энергией



является релятивистским определением параметра W , в отличие от нашего (3.3), являющегося уравнением].

На этом основании Дирак допускает существование как электронов с положительной энергией, так и «моря» электронов с отрицательной энергией, разделённых энергетическим интервалом $2m_0 c^2$ (рис. 3.2). Все уровни с отрицательной энергией заполнены электронами и на каждом из них находится по одному электрону. Если электрону в состоянии с отрицательной энергией с помощью энергичных гамма-квантов сообщить энергию, превышающую $2m_0 c^2$, то он переходит в состояние с положительной энергией и ведёт себя как обычный электрон. При этом в состоянии с отрицательной энергией появляется «дырка», которая ведёт себя как положительная частица с массой электрона — позитрон. Таким образом происходит рождение пары электрон-позитрон, которое через короткое время заканчивается их аннигиляцией и излучением гамма-квантов. Причём источником рождаемых названных и других пар в современной физике признаётся материализованный физический вакуум, а в данном конкретном случае некая из его многочисленных разновидностей — электронно-позитронный вакуум или фон электронов в состоянии с отрицательной энергией.

В нашей случае гипотеза физического вакуума как материальной среды оказывается невостребованной, ибо с успехом может быть заменена концепцией силового поля физических объектов. То есть упругой материальной средой, в которой при определённых условиях (релятивистские частицы в сильных полях) возможно временное образование полевых вихрей (квазичастиц), подобных вихревым макроскопическим образованиям в атмосфере (см. рис. 2.3, в). К такого

рода микроскопическим полевым образованием и относятся, на наш взгляд, все неустойчивые «частицы», обильно рождаемые в ускорителях (рис. 3.3) и изучаемые в рамках физики высоких энергий или элементарных частиц. Если энергия частицы 1 или фотона достаточно велика (жёсткий гамма-

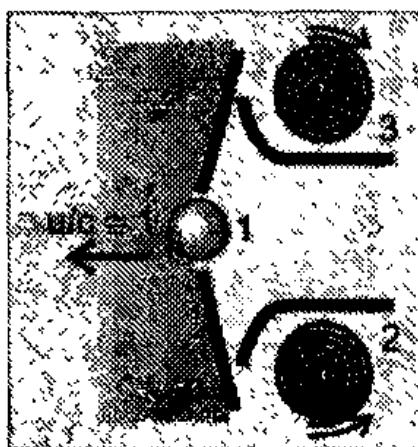


Рис. 3.3. Процесс образования элементарной пары «частица-античастица» в упругом силовом поле

квант), то в кулоновском поле тяжёлого ядра они в принципе могут породить любую пару полевых микровихрей 2 и 3 разнонаправленного вращения, которые в камере Вильсона идентифицируются как частица и античастица, в частности, электрон-позитрон.

В виртуальной физике подобными объектами, как известно, оперирует квантовая теория поля, представляя фотоны, электроны, позитроны и любые другие частицы в виде сгустков энергии различных силовых полей. Тогда оказывается, что предлагаемая нами физическая концепция ни только весьма прозрачно указывает на ошибочность идеи отрицательной энергии и антивещества, но и представляет не заслуживающими серьёзного к себе отношения раздел физики высоких энергий и квантовую теорию поля.

3.4. Скрытая масса силового поля

Рост энергии релятивистской частицы согласно (3.4) эквивалентен неограниченному увеличению её инерционной массы по закону, открыто-

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - u^2/c^2}}. \quad (3.6)$$

му в СТО:

Векторное соотношение (3.1) путём возведения левой и правой частей в квадрат с последующим извлечением квадратного корня и умножением на i приведем к следующей скалярной форме

$$i\vec{\epsilon} = imc. \quad (3.7)$$

Решая его совместно с (3.4), получаем:

$$im = \frac{m_0}{(u/c)\sqrt{1-u^2/c^2}}. \quad (3.8)$$

Таким образом, наряду с массой покоя m_0 и релятивистской массой m частицы, предсказанных СТО и связанных соотношением (3.6), в наших уравнениях обнаруживается мнимая или скрытая масса im . Это обусловлено тем, что СТО имеет дело с частицей, в то время как наша теория — с системой частица-поле, массу которой и определяет последнее соотношение.

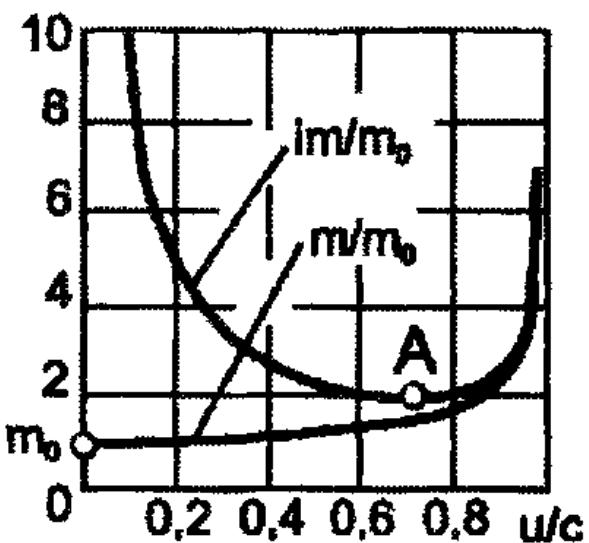
Рис. 3.4. Зависимость релятивистской массы частицы m/m_0 и системы частица-поле im/m_0 от скорости поступательного движения

На рис. 3.4 представлены графики зависимости релятивистской и скрытой массы от скорости движения частицы. Видно что первая устремляется в бесконечность при $u \rightarrow c$, в то время как вторая — как при $u \rightarrow c$, так и при $u \rightarrow 0$. Связь между указанными массами определяется соотношением

$$m = im(u/c). \quad (3.9)$$

А разность масс im и m на рис. 3.4 определяет массу силового поля.

Как видим, с увеличением скорости частицы последняя непрерывно уменьшается. Этот результат, по-видимому, следует понимать так. Поле покоящейся частицы распространяется на бесконечность, поэтому обладает и бесконечной массой. Поле движущейся частицы ограничено в пространстве тем в большей мере, чем выше её скорость. При $u \rightarrow c$ масса частицы-поля уменьшается, приближаясь к массе частицы (частица «сбрасывает» поле). Результатом этого является наличие нисходящей и восходящей ветвей в зависимости инертной массы частицы-поля от скорости. Минимуму функции $im(u)$ на рис. 3.4 отвечает точка А, в которой масса динамической системы частица-поле в два раза превышает массу m_0 покоя частицы. Это обстоятельство согласуется с экспериментальным подтверждением существования электромагнитной или полевой составляющей массы тел, в частности, электрона.



Точки А на графике отвечает некоторая равновесная скорость частицы-поля $u/c \approx 0,7$, соответствующая минимуму полной энергии $i\mathcal{E} \approx 1,4 m_0 c^2$. Указанная скорость отвечает наиболее устойчивому состоянию системы частица-поле, поэтому частицы и тела с равновесной скоростью должны преобладать в общей массе свободного космического вещества. Очевидно также, что эта скорость достаточно высока, чтобы при гравитационном захвате равновесных частиц Солнцем или другой звездой поддерживать непрерывное горение последних за счёт притока кинетической энергии. Как происходит такой захват, будет показано в следующей главе.

Левая ветвь функции im/m_0 на рис. 3.4 характеризует малоподвижные частицы и тела: атомы и молекулы, планеты, звёзды, — мнимая масса которых может во много раз превышать их реальную массу покоя. Правая ветвь характеризует быстрые частицы: электроны, протоны, нейтрино и другие, — релятивистская масса которых также стремится к бесконечности. То есть релятивистские микрочастицы могут иметь одинаковую «весовую» категорию с тяжёлыми и мало-подвижными частицами и в силу этого эффективно с ними взаимодействовать. Результатом такого взаимодействия в случае гамма-кванта и тяжёлого ядра (лабораторные условия) и является рождение на короткое время пары квазичастиц электрон-позитрон.

3.5. Трёхмерная структура пространства-времени

Из рис. 1.3 видно, что движение частицы-поля по инерции согласно принятой модели осуществляется в реальном трёхмерном пространстве-времени, в отличие от виртуального четырёхмерного в СТО. Причём, это пространство-время является абсолютным в том смысле, что по определению (1.17), базирующемуся на опыте, характеризуется постоянством скорости с распространения деформаций в нём. Это, в свою очередь, означает, что пространство и время как раздельные категории могут и не быть абсолютными: им не запрещено изменяться таким образом, чтобы отношение характеристик dr и $d\tau$ всегда оставалось постоянным, равным скорости света в пустоте. Покажем это.

В соотношении (1.18) переменные легко разделяются:

$$u dr = c d\tau,$$

а интегрирование даёт:

$$c i \mathbf{r} = r \mathbf{u} + \text{Const.}$$

Постоянная интегрирования может быть определена из следующих соображений. При заторможенной частице (электрон) согласно рис. 1.3 вектор $\mathbf{u} = 0$, а вектор $i\mathbf{r}$ разворачивается в направлении мгновенной скорости вращения: в этом направлении частица излучает накопленную кинетическую энергию поступательного движения, вращаясь со скоростью $iu = c$ по окружности радиуса r . Следовательно, вместо последнего уравнения имеем:

$$c i \mathbf{r} = r \mathbf{u} - c \mathbf{r}.$$

Меняя крайние слагаемые местами и умножая все слагаемые на i , получаем

$$c i \mathbf{r} = r i \mathbf{u} + c \mathbf{r}.$$

А деление слагаемых на $c\mathbf{r}$ даёт:

$$i\mathbf{r}/r - \mathbf{u}/c = 1.$$

При возведении левой и правой частей в квадрат и преобразовании слагаемого $-2i\mathbf{r}\mathbf{u}/rc$ в выражение $2\mathbf{r}\mathbf{u}/irc = 0$ получаем интересующее нас соотношение для характеристики пространства как самостоятельной категории

$$i\mathbf{r} = r \sqrt{1 - u^2/c^2}. \quad (3.10)$$

А интегрирование определения (1.17) скорости света даёт соотношение $r = ct$, подстановка которого в (3.10) приводит к выражению для характеристики времени как самостоятельной категории

$$it = t \sqrt{1 - u^2/c^2}. \quad (3.11)$$

Физический смысл соотношений (3.10) и (3.11) вполне очевиден: для частиц, движущихся с релятивистскими скоростями, расстояния, обусловленные собственными деформируемыми силовыми полями, сокращаются, а время преодоления этих расстояний соответственно уменьшается. На рис. 1.3 этому соответствует уменьшение шага $\lambda = 2\pi i\mathbf{r}$ (сжатие) винтовой траектории движущейся частицы, сокращение периода it по закону (3.11) и увеличение частоты $i\omega$ её колебаний в направлении поступательной скорости.

На рис. 3.5 для сравнения дана физическая интерпретация соотношения (3.10) согласно СТО: электрическое поле движущегося заряда деформируется в направлении поступательного движения и не де-

формируется в других направлениях. Такая картина деформирования силового поля частицы, в отличие от принятой в нашей концепции и описанной в разделе 1.7, не согласуется с твёрдо установленным фактом скалярной природы скорости света.

Соотношения (3.10) и (3.11) являются аналогами кинематических формул (1) и (2), полученных Эйнштейном на базе

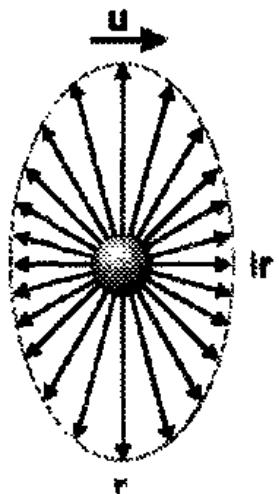
Рис. 3.5. Релятивистское деформирование электрического поля движущегося заряда

математических преобразований Лоренца. На них базируется эйнштейновское представление об относительности пространства и времени как раздельных категорий (абсолютно в СТО только четырёхмерное пространство-время [17]), которые противопоставляются ньютоновской модели их абсолютного характера. В нашем случае такое противопоставление оказывается некорректным: признать пространство относительным фактически означает отождествить его с деформируемым силовым полем.

По указанным причинам нам представляется уместным говорить о субъективности оценки событий в абсолютном пространстве-времени: в силу объективных обстоятельств, связанных с процессом измерения, каждый наблюдатель, двигаясь с определённой скоростью, вынужден оценивать события в пространстве и времени по-своему, в соответствии с характеристиками (3.10) и (3.11) релятивистского деформирования силового поля собственной системы отсчёта.

Очевидно, что между силовыми полями как материальными объектами и пространством существует глубокое и принципиальное различие: первые индивидуальны и бесчисленны, второе является общим и единственным. Силовые поля заполняют пространство, но не сводятся к нему. А эффект деформирования времени (3.11) или (3), в свою очередь, не даёт оснований для серьёзного обсуждения пресловутого парадокса близнецов: мы живём в абсолютном пространстве-времени, а разделили его на пространство и время, исходя из сугубо практических соображений.

Проблема времени в нашем случае обнаруживает одну особенность. Согласно рис. 1.3 движение физического объекта представляет



собой комбинацию абсолютного вращения с действительной частотой ω в реальном времени t и прямолинейное относительное движение при частоте $i\omega$ во времени it , которые являются мнимыми величинами. При оценке времени жизни элементарной частицы или другого материального (биологического) объекта из двух решений, действительного и мнимого, может быть признано реализуемым только одно. Мы полагаем, что это должны быть действительные параметры. Жизнь человека, в частности, измеряется количеством циклов (лет) обращения его вместе с Землёй вокруг Солнца. Тогда проблема парадокса близнецов лишается реальной почвы.

В свете сказанного нам представляется, мягко говоря, непрофессиональной укоренившаяся в учебной литературе традиция: факт увеличения времени «жизни» неустойчивых космических частиц (мю-мезонов) преподноситься в качестве экспериментального подтверждения релятивистского замедления хода времени (3). Ибо классическая механика давно объяснила подобные факты, увязав их с величиной полной энергии (3.4) и (3.5) частиц или тел. В частности, время «жизни» (дальнобойность) артиллерийского снаряда или ружейной пули при полёте в тормозящей атмосфере оказывается тем большими, чем больше их кинетическая энергия при вылете из ствола; а время «жизни» ракеты — тем большим, чем больше её внутренняя энергия, определяемая запасом топлива на борту, и конечная скорость разгона.

3.6. Рождение и эволюция Вселенной

«Приближённое» решение. Используем исходное дифференциальное уравнение (1.14) свободного движения для описания поведения изолированной Вселенной во времени в указанном диапазоне скоростей $u/c = 0,6 \dots 0,8$, для которого параметры m и K с некоторым приближением можно считать неизменными. Разделение переменных и непосредственное интегрирование уравнения позволяет получить такие зависимости:

$$-t/T = \ln(u/c)$$

или

$$u/c = m/im = \exp(-t/T),$$

где обозначено: $T = mc/K = imc/iK$. А умножение левой и правой частей уравнения (1.14) на $dr = cdt$ и последующее интегрирование по частям даёт:

$$-r/R = \ln(u/c)$$

или

$$u/c = m/im = \exp(-r/R),$$

где обозначено: $R = mc^2/K = imc^2/iK$. На рис. 3.6 указанные зависимости представлены на совмещённом графике, который подтверждает космологическую гипотезу Большого взрыва и решает одну из главных проблем, поставленных, но не решённых в космологической теории А. Фридмана: почему наша Вселенная расширяется в полном соответствии с законом Хаббла

$$u = Hr; \quad (3.12)$$

в этом простом соотношении u — скорость частицы или далёкого объекта (например, галактики или квазара), $H = 65 \pm 10$ км/с·Мпк — постоянная Хаббла, r — расстояние до объекта, а время $t = 1/H = 14 - 20$ млрд лет используется в литературе в качестве грубой оценки возраста Вселенной.

Из графика следует, что Вселенная имеет момент рождения ($t/T = 0$), а её эволюция сводится к непрерывному расширению по экспоненциальному закону от начального «нулевого» объёма ($r/R = 0$). Причём, рождение обусловлено «голыми» ($m = im$) и потому не врашающимися ($r = 0$) релятивистскими частицами, обладающими при $u = c$ бесконечной массой-энергией (нейтрино?). Начальное расширение

Рис. 3.6. Экспонента рождения и эволюции Вселенной



возможно в результате столкновения

двух таких частиц, обитающих вне времени и пространства (лаборатория Создателя), и последующего их самоторможения в процессе прогрессирующего самовращения. Последнее может быть обусловлено центробежными силами и взаимодействием частиц с разрастающимся собственным силовым полем.

Видно также: чем старше космический объект (больше время t/T его жизни), тем большие размеры он имеет (параметр r/R) и меньшая скорость u/c его свободного движения; чем меньше объект, тем большая скорость его движения и меньше время жизни. На рис. 3.4 это выражается в том, что для «тихоходных» и следовательно масштабных космических объектов, таких как галактики и их скопления, «тёмная материя» заметно превалирует над веществом (левая ветвь

кривой $i m/m_0$). Такая закономерность подтверждается и данными наблюдательной астрономии: «Чем больше масштаб структуры, тем большую роль играет «тёмная материя»: в самых больших структурах — в сверхскоплениях галактик — обычное вещество есть лишь слегка заметная (по массе) компонента, распыленная по громадному облаку материи неизвестной природы» [4].

Вернёмся к исходной модели рис. 1.3 свободного вращательно-поступательного движения тела массой m и акцентируем наше внимание на следующем принципиально важном обстоятельстве. Как мы видели, вращение свободного тела со скоростью $i\mathbf{u}$ согласно рис. 1.3, *a* приводит к возникновению радиальной вращающейся силы $[i\mathbf{K}, i\mathbf{u}/c]$, обусловленной упругими свойствами \mathbf{K} поля. Эта сила уравновешивает радиальную или центробежную составляющую силы инерции, связанную с наличием центростремительного ускорения тела, в соответствии с уравнением баланса сил (1.19, *a*). А из рис. 1.3, *b* следует, что поступательное движение тела порождает круговую циркуляцию силового вектора $[\mathbf{u}/c, \mathbf{K}]$, который уравновешивает силу инерции тела в направлении касательной к окружности вращения в соответствии с уравнением баланса сил (1.20).

Таким образом, на свободное самовращающееся тело постоянно действуют две пары противоположно направленных сил, которые естественно создают в нём напряжения растяжения. Тогда становятся очевидными как природа формирования колец вокруг Сатурна, так и происхождение пояса астероидов в солнечной системе. А для вращающейся Вселенной как целого наличие таких сил означает непрерывное увеличение её размеров. При этом первое из названных выше уравнений баланса сил легко приводится к виду

$$\mathbf{u} = (K/mc)\mathbf{r}, \quad (3.13)$$

совпадающему с законом Хаббла (3.12); второе же даёт результат

$$d\mathbf{u}/dt = (K/mc)i\mathbf{u},$$

объясняющий наблюдаемое разбегание далёких галактик с ускорением без привлечения гипотезы космического вакуума и антигравитации или тёмной энергии. А вкупе с «расползанием» вещества Вселенной со временем $i\mathbf{t}$ в направлении поступательной скорости согласно модели рис. 1.3 это объясняет явление, впервые обнаруженное Я. Б. Зельдовичем: масштабные космические образования не об-

ладают сферической формой, а представляют собой "блиинные" структуры с тремя неравными поперечными размерами.

При учёте определения $u = [r, \omega]$ из соотношения (3.13) имеем

$$K = mc\omega,$$

где ω — угловая частота вращения. Тогда постоянная Хаббла в соотношении (3.12) приводится к виду

$$\mathcal{H} = K/mc = \omega$$

и обретает ясное физическое содержание: она характеризует угловую частоту вращения Вселенной.

Точное решение. Чтобы избавиться от ограничений, связанных с изменением параметров m и K в исходном уравнении (1.14), разделим слагаемые его на m ; при учёте (1.15) или (3.13) имеем:

$$[u/c, u c r^0/r] + du/dt = 0$$

или

$$u^2/r + du/dt = 0.$$

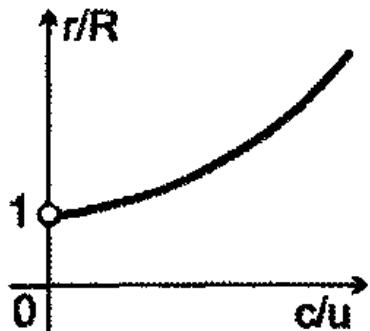
Разделение переменных и непосредственное интегрирование уравнения с использованием, на основании (1.17), подстановки $dt = dr/c$ даёт:

$$c/u = \ln(r/R)$$

или

$$r/R = \exp(c/u), \quad (3.14)$$

Рис. 3.7. Функция (3.14)



где r — физический радиус частицы, R — постоянная интегрирования, характеризующая размеры взорвавшейся Протогалактики. На рис. 3.7 функция (3.14) представлена графически.

Видим, что значению $r = R$ на графике отвечает параметр $c/u = 0$ или бесконечная скорость первородных частиц; причём, это только момент их столкновения, но не начало Взрыва. А значению $c/u = 1$ отвечает размерный параметр Протогалактики $r/R = 2,718$, с которого на графике рис. 3.6 и ведёт отсчёт Большой взрыв и рождение Вселенной. Увеличение значения функции r/R с ростом аргумента c/u на новом графике означает, как и раньше, экспоненциальное расширение Вселенной, сопровождаемое соответствующим замедлением скорости составляющих её материальных частиц.

Графики рис. 3.7 и 3.6 представляют, таким образом, один и тот же закон эволюции Вселенной, выраженный прямой (типа $y = e^x$) и обратной (типа $y = 1/e^x$) показательными функциями.

О рождении Вселенной из «Ничего». В научной литературе имеется несколько весьма туманных вариантов физической концепции рождения Вселенной из «Ничего» без нарушения закона сохранения. В трактовке Я. Зельдовича и Л. Гришука под термином «Ничего» понимается пустое замкнутое трёхмерное пространство без частиц, которое могло выделиться как физический объект в результате некоторого катастрофического процесса. Обязательный физический вакуум в таком пространстве поневоле оказывается в резко неравновесном состоянии, что обуславливает неизбежность эволюции пустого пространства. В процессе эволюции вакуум рождает частицы, но положительная энергия частиц и вакуума точно компенсируется отрицательной энергией гравитационного поля, в результате чего суммарная энергия Вселенной в целом остаётся равной нулю. «Так без нарушения закона сохранения энергии первоначально маленькая, пустая Вселенная преобразуется в большую Вселенную, заполненную материй — частицами» [4].

«Туманом» в подобных концепциях мы называем безадресную потенциальную энергию, по воле авторов сопровождающую рождение частиц в пустоте. Согласно соотношениям (3.4) и (3.5) полная энергия свободной частицы по определению не содержит потенциальной составляющей. Последняя, как будет показано в следующей главе, появляется только в связанном состоянии изучаемой частицы с другим материальным объектом и представляет собой важную физическую характеристику — энергию связи сложной или составной, в частности, планетарной системы тел (Солнечная система, атом водорода и др.). Отрицательную потенциальную энергию других материальных образований, например упругой среды в виде эфира или физического вакуума также трудно себе представить. По указанной причине подобные концепции рождения Вселенной нам представляются чистой воды спекуляциями и серьёзного внимания не заслуживают.

Выводы к главе 3

- Релятивистские законы движения могут быть получены, а их область применения существенно расширена при учёте взаимодействия частицы с собственным силовым полем без привлечения преобразований Лоренца и инерциальных систем отсчёта.
- В рамках неоклассической физической концепции образование неустойчивых микропар «частица-античастица» находит простое и логичное объяснение, в результате которого проблема антивещества с повестки дня снимается.
- К традиционным характеристикам силового поля как материального объекта — величинам энергии и импульса — следует добавить мнимую или скрытую массу силового поля и жёсткость его при деформировании.
- Теоретическое обнаружение скрытой массы силового поля решает ключевую проблему современной космологии — проблему тёмной материи.
- Ускоренное разбегание удалённых галактик может быть объяснено упругими свойствами космических силовых полей без привлечения гипотезы тёмной энергии.
- Пространство-время является трёхмерным. Оно абсолютно и объективно, а его восприятие в виде раздельных категорий пространства и времени осуществляется каждым конкретным наблюдателем через собственное деформируемое силовое поле и является субъективным.
- В рамках неоклассической физической концепции находят строгое теоретическое обоснование гипотеза Большого взрыва и закон Хаббла.

* * *

Глава 4. ТЯГОТЕНИЕ

На базе объединения магнитных сил и сил инерции даётся обоснование закона всемирного тяготения Ньютона; показано, что гравитационное взаимодействие в планетной системе, вопреки сложившимся представлениям, относится к категории наиболее сильных физических взаимодействий.

4.1. Состояние вопроса и постановка задачи

Современная релятивистская теория тяготения составляет содержание общей теории относительности Эйнштейна. Она базируется на принципе локальной эквивалентности гравитационных сил и сил инерции. При этом предполагается, что силы гравитации проявляют себя как реальные физические силы, обусловленные кривизной пространства-времени, которые должны приводить к образованию во Вселенной «чёрных дыр» и излучению характерных гравитационных волн. Однако указанные физические объекты до сих пор надёжно не зарегистрированы, и здесь мы сталкиваемся с самостоятельной и трудно разрешимой проблемой экспериментальной физики.

Между тем, лежащий в основе ОТО принцип эквивалентности гравитационных и инертных сил допускает такую — радикальную — трактовку, при которой указанная проблема не возникает. Речь идёт об известной Эйнштейновской формулировке его сути: «Гравитационное поле можно создать простым изменением координатной системы» [26]. Она позволяет отказаться от реальности гравитационных сил и признать их фиктивными силами, обусловленными центростремительным ускорением инертных тел или частиц в процессе свободного движения по естественным криволинейным траекториям. Правда, последовательная реализация такой постановки задачи наталкивается на принципиальные трудности, суть которых состоит в следующем.

В отсутствие «истинного» гравитационного поля геометрия пространства-времени остаётся псевдоевклидовой геометрией Минковского, а геометрия трёхмерного пространства евклидовой. Естественным криволинейным траекториям тел в таком пространстве нет места. Это обстоятельство вынудило Эйнштейна сохранить «истинное»

гравитационное поле, объединив его с полем сил инерции в единое гравитационное поле, которое формирует неевклидову «сферическую» структуру пространства-времени с движением свободных тел по криволинейным мировым линиям — геодезическим. При этом закон всемирного тяготения Ньютона естественным образом вошёл в уравнения Эйнштейна в качестве приближённого и новая теория сохранила

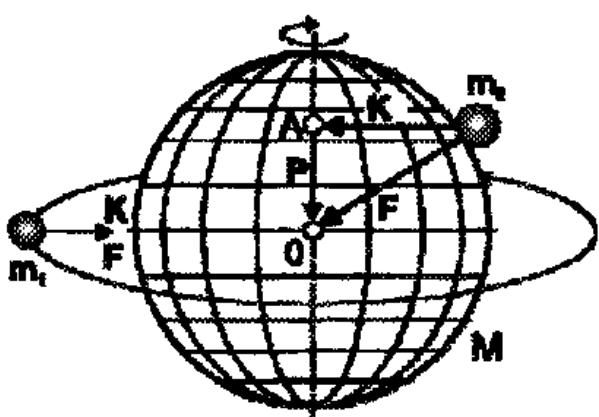


Рис. 4.1. Силы тяготения и инерционные силы для спутника Земли и тела, лежащего на её поверхности

преемственность с классическими физическими воззрениями (принцип соответствия). Легко видеть однако, что такое объединение не исчерпывает все практически важные случаи гравитационного взаимодействия тел.

В частности, для вращающегося вокруг Земли спутника (масса m_1 на рис. 4.1) такое объединение допустимо: здесь плоскость орбиты спутника проходит через центр планеты, поэтому сила F тяготения и сила K инерции, обусловленная центростремительным ускорением вращающейся массы, — это фактически одна и та же сила. Для тела m_2 , лежащего на поверхности вращающейся Земли вдали от экватора, такое объединение недопустимо: в этом случае для расчёта силы тяготения F необходимо силу инерции K сложить векторно с некоторой неизвестной силой P , природу которой нам предстоит ещё выяснить. Иными словами, ОТО Эйнштейна в какой-то мере может быть приспособлена к решению «космических» задач, но совершенно не пригодна для решения проблем тяготения в земных условиях.

И всё же радикальная — без привлечения «истинных» сил гравитации — постановка и решение проблемы гравитации возможны: например, в рамках неевклидовой «кольцевой» структуры пространства-времени с движением свободных тел по винтовым траекториям. Формирование такой структуры можно приписать космическим магнитным полям, силовые линии которых замкнуты, а преемственность с теорией тяготения Ньютона обеспечивается в этом случае введением в исходные уравнения закона Кулона для магнитных сил.

Таким образом, речь пойдёт далее об объединении в единое гравитационное поле магнитного поля и поля сил инерции. При этом проблема «чёрных дыр» с повестки дня снимается из-за специфики магнитных сил: они максимальны, конечны и противоположно направлены по торцам или разноимённым полюсам реального магнита, но исчезают в средней его части вследствие взаимной компенсации. А вместо гравитационных волн теория должна предсказывать традиционное электромагнитное излучение как результат изменения во времени магнитных полей взаимодействующих инертных космических масс. Такой подход оправдан по меньшей мере двумя обстоятельствами: движение планет Солнечной системы осуществляется по винтовым траекториям, обусловленным движением самого Солнца в направлении Галактики; Вселенная вся заполнена космическим радиоизлучением.

Геометрическое решение задачи, как показывает опыт развития ОТО Эйнштейна, приводит к неразрешимым противоречиям, обусловленным чуждостью для неё (геометрии) базовых физических понятий материальной точки — силы и энергии. В самом деле, если описывать свойства реального мира геометрией Эвклида, то приходим к понятиям однородного и изотропного пространства-времени, в котором выполняются основные законы реального мира — законы сохранения; при этом однако приходится оперировать инерциальными системами отсчёта, которым в реальном мире нет места. Напротив, неевклидова геометрия искривлённого пространства-времени позволяет оперировать «реальными» неинерциальными системами отсчёта, однако приводит к нарушению законов сохранения в таком мире вследствие неоднородности и неизотропности пространства-времени [15]. По этой причине сформулированная постановка задачи нами трансформирована здесь в неоклассическую, учитывающую взаимодействие тела с собственным силовым полем.

4.2. Вращающийся комплексный вектор

Напомним, что общим решением уравнения гармонических колебаний типа (1.14) на комплексной плоскости, заданной неподвижной прямоугольной системой координат XO_iY (рис. 4.2), является вращающийся комплексный вектор u [8], определяемый проекциями $x =$

$i\cdot \cos\omega t$ и $iu = iu \cdot \sin\omega t$ на действительную ОХ и мнимую OiY оси. Максимальные значения указанных проекций равны u и iu и представляют собой частные решения уравнения колебаний: на исходной модели свободного

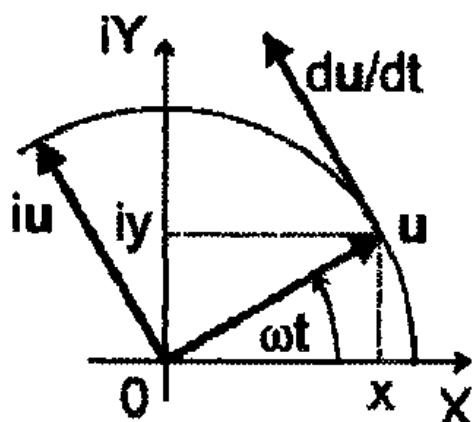


Рис. 4.2. Вращающийся комплексный вектор

движения тела (рис. 1.3) первому случаю соответствует поступательное движение частицы, второму — вращение. Сумма этих частных решений также является решением уравнения, которое мы здесь исследуем; оно определяется очевидными условиями:

$$is\sin\omega t = \cos\omega t = 1,0; \quad (4.1)$$

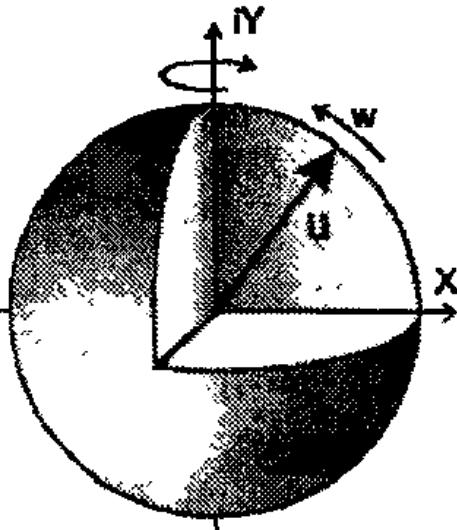
$$iu \equiv u \text{ или } iu^2 \equiv \pm u^2. \quad (4.2)$$

Примем далее во внимание, что $(d/d\omega t)\sin\omega t = \cos\omega t$. Сравнивая этот результат с (4.1), находим, что в нашем случае операции умножения на i и дифференцирования могут ис-

Рис. 4.3. Образование сферического центрального силового поля вращающимся вектором U

пользоваться как взаимозаменяемые. На рис. 4.2 это демонстрируют вектор iu , опережающий вектор u на угол $\frac{1}{2}\pi$, и вектор du/dt , касательный к траектории вращения вектора u [16].

Таким образом, наличие в решении задачи двух одинаковых по модулю параметров, действительного u и мнимого iu , есть свидетельство того, что мы имеем дело с вращающимся комплексным вектором. Очевидно, что на математической плоскости вращающийся комплексный вектор описывает окружность (рис. 4.2), а в трёхмерном изотропном пространстве, по определению не имеющем выделенных направлений и плоскостей вращения, — изменяющее в пространстве-времени сферическое силовое поле (рис. 4.3). На это впер-



вые обратил внимание П. Дирак [1], назвав математическую теорию функций комплексной переменной «основой будущей физики». И используя это обстоятельство, мы попытаемся далее нарисовать достаточно полную физическую картину тяготения, не прибегая к традиционным представлениям векторного и тензорного анализа. Наша задача оказывается проще: необходимо найти вращающийся комплексный вектор силы или энергии, характеризующие конкретное гравитационное взаимодействие.

4.3. Магнитная природа тяготения

Как следует из рис. 1.3, жёсткость собственного деформируемого силового поля свободной самовращающейся частицы проявляет себя в виде внутренней силы \mathbf{K} , действующей на частицу в радиальном направлении и обеспечивающей тем самым тяготение её к центру самовращения. Согласно (3.1) имеем:

$$\mathbf{K} = (mc\omega/r)\mathbf{r}^0 = mc\omega\mathbf{r}^0. \quad (4.3)$$

А после несложных преобразований этого соотношения получаем:

$$i\mathbf{K} = -iLc/(ir)^2 = -mc\omega\mathbf{H}/(ir)^2; \quad (4.4)$$

здесь $i\mathbf{L} = m[\mathbf{r}, i\mathbf{u}] = -mr\mathbf{u}$ — сохраняемый момент импульса самовращающейся частицы,

$$i\mathbf{H} = i\mathbf{L}/m = -r\mathbf{u} \quad (4.5)$$

— удельное (на единицу массы) значение этого параметра.

Видим, что жёсткость силового поля порождает осевую составляющую в виде силы притяжения $i\mathbf{K}$, которая распространяется на прилегающее пространство, убывая по величине обратно пропорционально квадрату расстояния ir от плоскости вращения частицы. Это согласуется с опытами по обратному магнитомеханическому эффекту: вращающаяся инертная масса порождает осесимметричное магнитное поле, превращая эту массу в магнит; и наоборот, при внесении незаряженного тела в магнитное поле оно начинает медленно вращаться. По-видимому именно этот эффект и экспериментальный закон Кулона для магнитных сил обнаруживает соотношение (4.4).

Тогда вектор \mathbf{P} на рис. 4.1 представляет собой силу притяжения магнитных центров А и О совместно вращающихся тела m_2 и Земли соответственно. И в таком случае всякие попытки зарегистрировать

какие-то особые гравитационные волны обречены: гипотетические гравитоны, как переносчики гравитационного, а фактически магнитного взаимодействия, должны иметь электромагнитную природу. В космосе следы такого взаимодействия в виде радиоволн регистрируются несложно. В земных условиях это сделать практически невозможно, поскольку процесс магнитного взаимодействия реализуется глубоко внутри земного шара (точки А и О на рис. 4.1).

На основании рис. 1.3 на рис. 4.4 построено продольное сечение плоскостью вращательной траектории свободного тела вдоль оси ОХ. Показаны два положения тела, текущее 1 и сдвинутое по фазе на половину оборота 2, и построена соответствующая им геометрическая структура силовых линий собственного магнитного поля, образуемого при само-

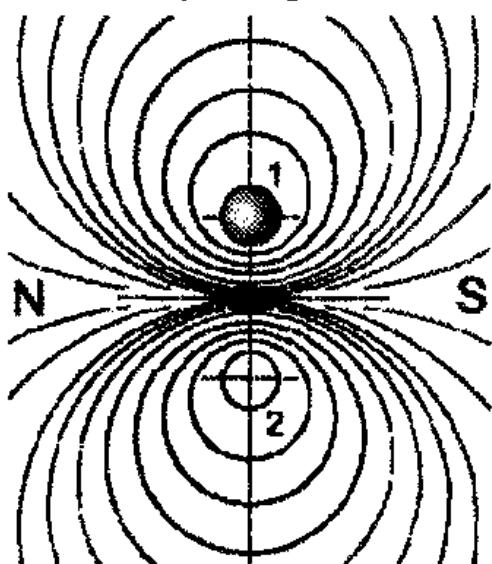


Рис. 4.4. Структура собственного магнитного поля свободного самовращающегося тела

вращении тела. Видно, что вдоль оси вращения тела из силовых линий формируется магнитная структура с северным *N* и южным *S* магнитными полюсами, которая и реализует функцию (4.4) гравитационного притяжения внешних тел по закону обратных квадратов расстояний до них. А вокруг самого вращающегося тела из силовых линий формируется поле замкнутых магнитных натяжений, ответственных, очевидно, за сферическую форму вращающихся космических тел в соответствии с рис. 4.3, равно как и за локальную гравитацию частиц тела и расположенных на нём предметов m_2 (см. рис. 4.1).

Согласно (4.3) жёсткость силового поля определяется величиной предельного импульса m_c и частотой колебаний ω частицы. Этими же параметрами характеризуется, как известно, не имеющее заряда электромагнитное излучение (фотоны), что вполне определённо указывает на его источник — силовые поля и определяет его универсальный характер: оно не зависит от природы материальной частицы (наличия или отсутствия у неё электрического заряда), а является результатом колебательного процесса с участием инертной массы

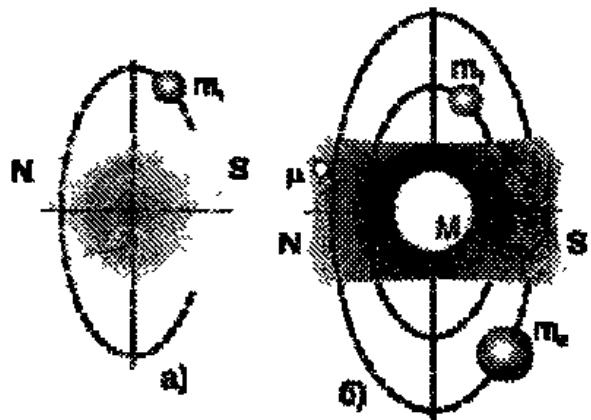
как такового. Это обстоятельство лишний раз указывает на то, что силовые поля любого происхождения, и в частности гравитационное, в принципе способны генерировать только традиционные электромагнитные волны. А разница между фотонами, порождаемыми колебаниями лёгкого электрона, и гравитонами как гипотетического продукта излучения тяжёлых космических масс только в длине волны излучения.

4.4. Образование планетной системы

Согласно соотношению (4.4) осевая магнитная сила iK свободного самовращающегося космического тела тем больше по величине, чем больше момент импульса его iL .

На рис. 4.5, а возникновение такой

Рис. 4.5. Магнитное поле врашающегося тела (а) и образование планетной системы (б)

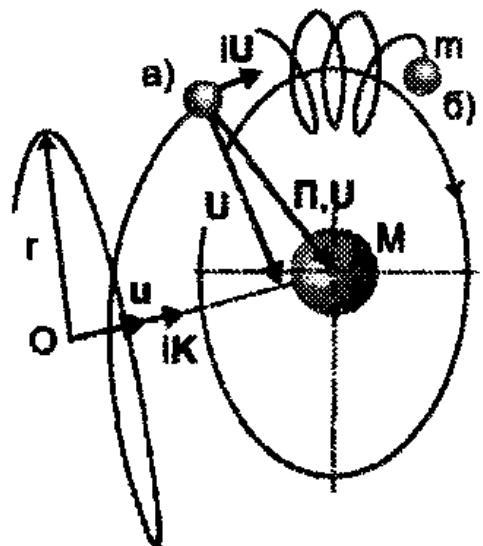


силы представлено в виде эквивалентного поля-магнита, располагаемого на оси самовращения космического тела m_1 . Такое тело может объединиться с другим m_2 (рис. 4.5, б) или несколькими космическими телами, вращающимися в ту же сторону, и это объединение осуществляется благодаря наличию осевых магнитных сил взаимного притяжения между эквивалентными магнитами таких тел. В результате образуется планетная или планетарная система с общим магнитным центром самовращения тел, жёсткость силового поля которой определяется суммарным моментом импульса составляющих системы. При этом согласно соотношению (1.15) или (4.3) радиусы r самовращения тел в связанной системе существенно уменьшаются, а их окружные скорости v соответственно возрастают таким образом, чтобы моменты импульса космических тел при переходе от свободного состояния к связанному оставались неизменными.

Когда в жёсткое поле образованной планетной системы попадают малые и энергичные свободные частицы μ (рис. 4.5, б), обладающие равновесной скоростью $v/c \approx 0,7$, последняя может возрасти до предельной, близкой к скорости света. При этом энергия частицы

преобразуется в тепловую энергию, образуя со временем в центре планетной системы излучающее центральное тело M — звезду. Таким образом, мы приходим здесь к альтернативной модели самозарождения планетной Солнечной системы, в которой холодные планеты «породили» Солнце, обеспечив тем самым появление жизни на одной из них — Земле. В этой модели источником жизни «вечного светила» оказываются не ядерные реакции синтеза, а непрерывная подпитка энергией релятивистских космических частиц. Результатом такой подпитки является непрерывное медленное увеличение размеров и массы Солнца, с одной стороны, и соответствующее уменьшение радиусов самовращения планет системы — с другой. В будущем это приведёт к последовательному поглощению планет Солнцем, вследствие чего образуемое планетами магнитное поле Солнца будет непрерывно уменьшаться, а с ним будут уменьшаться и его гравитационные силы. В конечном счёте слабеющие гравитационные силы окажутся не в состоянии сдерживать частицы Солнца вместе и оно взорвётся.

Рис. 4.6. При гравитационном захвате свободной частицы (а) тяжёлым телом первая начинает вращаться вокруг второго по винтовой траектории (б)



Видим, что Солнце «содерживает» планеты на своих орbitах потому только, что в середине его располагается общий магнитный центр планетной системы. Для наших последующих рассуждений это уточнение не играет существенной роли. Поэтому продолжим наши исследования в духе классической физики: полагая ответственными за захват частицы m (рис. 4.6) гравитационные силы центрального тяжёлого тела M (Солнца); не забывая при этом истинной причины захвата — суммарного магнитного поля самовращающихся планет системы.

Ещё раз обратим внимание, что радиус самовращения свободной частицы определяется соотношением (1.15) и в пределе, при $K \rightarrow 0$, является бесконечным. А согласно (3.5) полная энергия $i\mathcal{E}$ системы частица-поле при дорелятивистских скоростях определяется суммой внутренней $m_0 c^2 = \text{Const}$ и кинетической $\frac{1}{2} m_0 u^2 = \text{Var}$ энергий час-

тицы; первая величина характеризует предельную энергию самовращения частицы, вторая — энергию её поступательного движения.

По логике вещей при захвате свободной частицы тяжёлым телом (см. рис. 4.6, а) предельная энергия её самовращения должна сохраняться количественно и качественно, а кинетическая энергия поступательного движения преобразоваться в энергию связи. При этом частица переходит с орбиты большого радиуса самовращения, обусловленной относительно малой жёсткостью собственного силового поля, на орбиту с меньшим радиусом самовращения, задаваемую более жёстким силовым полем захватывающего центрального тела. Здесь проявляется прямая аналогия с ОТО Эйнштейна: в последней тяготение обусловлено кривизной пространства, в нашем случае — жёсткостью его; причём как кривизна, так и жёсткость пространства, в свою очередь, обусловлены присутствием массивных тел.

В общем случае в процессе захвата центр O самовращения частицы не совпадает с центром тела M , и по завершении процесса захвата он сам начинает вращаться вокруг центра тяжёлого тела. Результатом сложения указанных двух видов движения — самовращения частицы и вращения центра O — оказывается вращение первой вокруг второго по замкнутой спиральной траектории согласно рис. 4.6, б, включающей годовое (вокруг центрального тела) и суточное (вокруг оси спирали) вращение частицы.

Таким образом, попадая в поле центральной силы, частица продолжает двигаться по спиральной траектории, описываемой теми же уравнениями движения (1.19, б) и (1.20) при возросшей суммарной жёсткости K силового поля:

$$(u/c)K = (mu^2/r)r^0,$$
$$-(u/c)K = imdu/dt.$$

Здесь второе уравнение получено путём умножения уравнения (1.20) на i ; тем самым мы развернули векторы этого уравнения в направлении поступательной скорости частицы.

Умножение слагаемых первого уравнения на вектор r приводит к уравнению баланса энергии годового вращения связанной частицы-планеты

$$U = mu^2, \quad (4.6)$$

где

$$U = (u/c)Kr = (u/c)\mathcal{E} \quad (4.7)$$

— энергия деформирования суммарного силового поля. А умноже-

ние слагаемых второго уравнения на элементарный вектор $i\mathbf{dr} = u dt$ и интегрирование по частям для начального условия $i\mathbf{r} \rightarrow \infty$, $u \rightarrow 0$ приводит к уравнению баланса энергии супочного вращения частицы

$$iU = -\frac{1}{2} i m u^2, \quad (4.8)$$

где параметр $iU = -(iu/c)K_r = -(iu/c)\xi$ (4.9)

определяет величину энергии связи вращающейся частицы с центральным телом в планетарной системе. Путём умножения на единичный вектор \mathbf{i}^0 левой и правой частей соотношения (4.8) оно легко преобразуется из скалярного в векторное, в котором вектор iU ориентирован в направлении поступательной скорости \mathbf{u} частицы (см. рис. 4.6).

4.5. Законы тяготения

Итак, мы условились, что для захвата самовращающейся свободной частицы тяжёлым телом и образования планетной системы согласно рис. 4.6 необходимо и достаточно наличие силы притяжения между этим телом и центром самовращения частицы. Как мы видели, такие силы в природе существуют: это — магнитные силы. Тогда образование Солнечной системы, например, может быть представлено как результат взаимодействия магнитного поля Солнца и магнитных центров самовращения планет. И для количественной оценки взаимодействия достаточно привлечь экспериментальный закон Кулона для магнитных сил или соотношение (4.4).

На основании (3.1) при $\xi = ist$ из соотношения (4.9) имеем

$$iU = -iu^2 m = -iu^2 m(r/r) = -uiHm/r. \quad (4.10)$$

Наблюдения за Солнечной системой показали, что параметр uiH для всех планет остаётся неизменным (третий закон Кеплера) [14], т. е. не зависит от массы m планеты. Тогда остается предположить, что он определяется параметрами Солнца, в первую очередь его массой M . При этом соотношение (4.10) приводит к следующему выражению для энергии гравитационного взаимодействия:

$$iU = -GMm/r,$$

где $G = uiH/M$ (4.11)

— коэффициент пропорциональности, называемый постоянной тяготения.

Соотношения (4.7) и (4.9) показывают, что взаимодействие орбитальной частицы m с тяжёлой массой M характеризуется действительным U и мнимым iU значениями энергии. Опираясь далее на сказанное в связи с рис. 4.2 и рис. 4.3, приходим к выводу, что мы имеем дело с вращающимися комплексными векторами энергии U и силы Π , которые формируют вокруг центрального тела сферически симметричное векторное поле. Тем самым они определяют статический закон всемирного тяготения Ньютона

$$U = -(GMm/r)r^0, \Pi = dU/dr = -(GMm/r^2)r^0 \quad (4.12)$$

или $U = (GimM/r)r^0, \Pi = (GimM/r^2)r^0$

как результат воздействия на орбитальную частицу внешней магнитной силы, с одной стороны, и природного стремления её к самовращению — с другой. Причём комбинирование соотношений (3.1), (4.4), (4.11) и (4.12) делает эту связь тяготения и упругих деформаций магнитных силовых полей особенно наглядной:

$$\Pi = -(w/c)iK, U = -(w/c)i\mathcal{E}.$$

А приведённая нами вторая, нетрадиционная форма записи закона Ньютона отражает влияние скрытой массы на величину потенциальной энергии и силы тяготения.

Мы пришли, таким образом, к необходимости объединения, подобного Эйнштейновскому, истинного силового поля, каковым в нашем случае является магнитное поле, с полем сил инерции в единое гравитационное поле. В пользу описанного механизма объединения силовых полей говорит вытекающий из него тривиальный вывод об эквивалентности гравитационной и инертной масс, на котором базируется ОТО Эйнштейна. Иными причинами объяснить эту эквивалентность, по-видимому, не представляется возможным. На это же указывает факт вращения планет Солнечной системы в одну и ту же сторону: оно обусловлено магнитной природой гравитационных сил; в результате процесс захвата Солнцем распространяется только на тела, орбитальный момент импульса которых ориентирован по отношению к Солнцу вполне определённым образом — на взаимное притяжение.

Преобразуем (4.11), используя определение (4.5) и подстановки (4.2) и $iu = 2\pi r/\tau$, где τ — период обращения частицы-планеты; в результате имеем традиционную форму записи третьего закона Кеплера

ра:

$$GM = 4\pi^2 r^3 / \tau^2 = \text{Const.}$$

В нашем случае он гласит: квадраты времён обращения планет относятся как кубы средних радиусов орбит, по которым они движутся вокруг Солнца.

Уравнения баланса энергии (4.6) и (4.8) разрешим относительно скорости частицы с учётом (4.12). В первом случае имеем соотношение

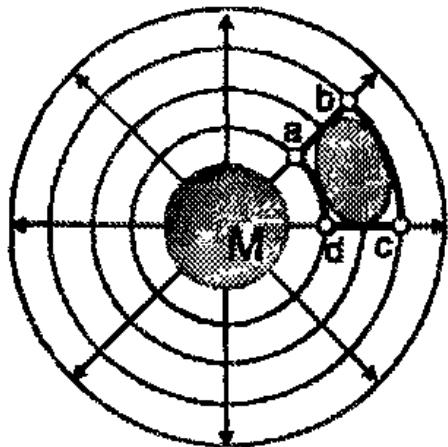
$$u_1 = \sqrt{GM/r},$$

определяющее величину первой космической скорости, потребной для вывода на круговые орбиты искусственных спутников Земли (при скорости, несколько меньшей или превышающей первую космическую, имеем эллиптические орбиты спутников [14]). Во втором случае получаем известное выражение для подсчёта второй космической скорости

$$u_2 = \sqrt{2GM/r}.$$

Ей соответствует парабола, разграничающая замкнутые или финитные и незамкнутые или инфинитные траектории движения частицы-планеты, связанное и несвязанное состояния её с центральным телом.

Рис. 4.7. Гравитационное поле



На рис. 4.7 представлена геометрия стационарного силового поля гравитационной массы M . Она включает радиальные векторы силы \mathbf{F} тяжести, определяемые законом (4.12), и концентрические окружности-эквидистанты, описываемые уравнением $U = \text{Const}$. Традиционно такие силы называются консервативными, а образованные ими центральные поля потенциальными: работа внешних сил в них не зависит от пути, а зависит только от положения начальной a и конечной b точек этого пути и определяется разностью «высот» их эквидистанций

$$\int_b^a \mathbf{F} d\mathbf{l} = U_a - U_b.$$

Если движение силы происходит по замкнутой траектории, то начальная и конечная точки пути совпадают и результирующая работа сил в потенциальном поле равна нулю:

$$\oint \mathbf{F} d\mathbf{l} = 0. \quad (4.13)$$

Выделим в потенциальном поле замкнутый контур $abcd$, образованный указанными геометрическими элементами силового поля. Площадь, ограниченная выделенным контуром, определяет внутреннюю энергию выделенного участка поля:

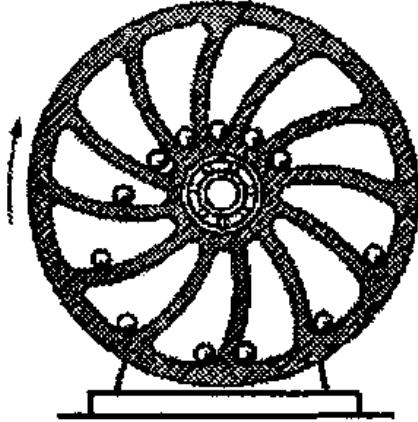
$$\oint \mathbf{D} dr = \Delta U. \quad (4.14)$$

При этом справедливость соотношения (4.13) в отношении выделенного контура становится особенно наглядной: движение тела по эквипотенциалам ad и bc не связано с изменением сил тяготения и энергии, а переход с нижней эквипотенциали на верхнюю и обратно сопровождается затратой и последующим возвратом одинаковой по модулю энергии (4.12); в результате имеем «чистый» нуль в правой части соотношения (4.13).

В практике конструирования и эксплуатации различного рода машин описанные

**Рис. 4.8. Пример «вечного»
двигателя первого рода**

«идеальные» контуры замкнутого или «кругового» движения тел не реализуются: можно только приблизиться с той или иной точностью к «идеалу», как это показано на рис. 4.7 слаженным пунктирным контуром, площадь которого заштрихована. На рис. 4.8 в качестве примера такого движения приведена схема «вечного» двигателя первого рода, предполагающего получение полезной работы из гравитационного поля Земли путём организации асимметричного кругового движения центра масс грузов-шариков вокруг оси вращения двигателя.



Соотношение (4.13) налагает запрет на такие машины: получить полезную (положительную) работу из внутренней энергии (4.14) потенциального, в данном случае гравитационного поля не представляется возможным. Более того, площадь, ограниченная замкнутым контуром движения реальных тел (заштрихована на рис. 4.7) всегда меньше площади, занимаемой контуром $abcd$ «идеального» движения. Это обстоятельство даёт основания для следующего обобщения

соотношения (4.13) на реальные циклы:

$$\oint \mathbf{F} d\mathbf{l} \leq 0. \quad (4.15)$$

Оно утверждает, что даже в условиях полного отсутствия сил механического трения движение реальных тел по замкнутому контуру в поле сил тяжести сопровождается затратой энергии. Очевидно, что эта энергия в конечном счёте и определяет процесс гравитационного излучения или лучистого трения взаимодействующих движущихся масс. Мы имеем, таким образом, в соотношении (4.15) сильную формулировку закона сохранения энергии или запрета «вечного» двигателя первого рода и одновременно — указание на существование гравитационного излучения.

4.6. Энергия связи в планетной системе

Для частицы, подвергаемой захвату тяжёлым телом, масса которого здесь полагается сосредоточенной в точке, вместо (3.2) имеем

$$\mathbf{r}\dot{\mathbf{c}} - i\mathbf{W} = i\mathcal{E}_0 + i\mathbf{U},$$

где $i\mathbf{U}$ — вектор, характеризующий энергию магнитного притяжения вращающейся частицы к центральному телу в планетной системе или энергию связи частицы m с телом M (рис. 4.6). При возведении левой и правой частей уравнения в квадрат с учётом (3.1) получаем

$$\beta^2 - \beta^2 u^2/c^2 = -\mathcal{E}_0^2 - 2\mathcal{E}_0 U \cos\gamma + (iU)^2,$$

где γ — угол между векторами $i\mathcal{E}_0$ и $i\mathbf{U}$, близкий к $\frac{1}{2}\pi$. Используя на основании (4.1) подстановку $\cos\gamma = i\sin\gamma$ и связь $i = -1/i$, представим полученное уравнение в следующем виде:

$$\beta^2 - \beta^2 u^2/c^2 = -\mathcal{E}_0^2 + 2\mathcal{E}_0 U/i + (iU)^2$$

и решим относительно параметра iU как неполное квадратное. При этом введём величину $u^2/c^2 = 2GM/irc^2$, получаемую делением левой и правой частей соотношения (4.8) на mc^2 , и сохраняемый момент импульса $iL = miur$. В результате при $m \cong m_0$ (дорелятивистские скорости) имеем следующую зависимость энергии связи iU орбитального тела в планетной системе от смещения ir плоскости орбиты по отношению к центральному телу:

$$\pm iU/mc^2 = \sqrt{1 - r_g/ir + (iL/mcir)^2 - (iL/mcir)^2(2GM/irc^2)}. \quad (4.16)$$

Это уравнение легко преобразуется к виду, сходному с известным в ОТО выражением для описания движения частицы вблизи коллапса [27]:

$$\pm iU/mc^2 = \sqrt{(1 - r_g/ir)[1 + (iL/mcir)^2]}; \quad (4.17)$$

здесь введён гравитационный радиус тела, определяемый выражением

$$r_g = 2GM/c^2.$$

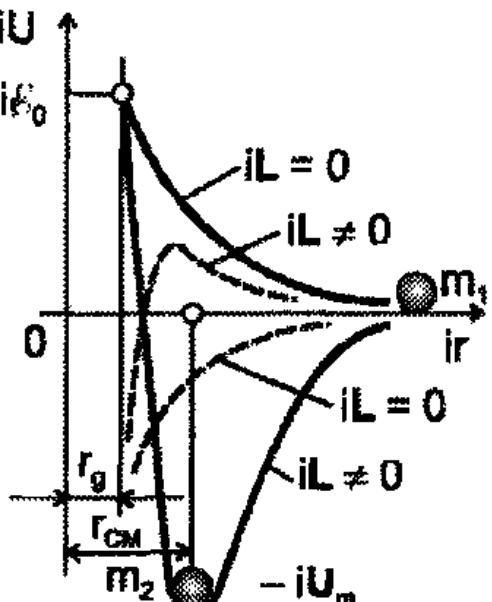
Типичные графики отрицательной ветви функции (4.17) качественно представлены на рис. 4.9 жирными линиями для двух значений параметра $iL = \text{Const}$. Графики сдви-

Рис. 4.9. Энергия связи в планетной системе

нуты по оси ординат так, что отсчёт значений энергии связи ведётся не от нулевого уровня, а от величины $i\mathcal{E}_0 = im_0c^2$ энергии покоя частицы. В этом случае отрицательные значения функции $iU(ir)$ образуют с осями координат зону потенциальной ямы, а положительные — зону потенциального барьера.

Верхняя кривая на рис. 4.9 отвечает условию $iL \approx 0$, т.е. характеризует поведение слабо вращающейся частицы m_1 вблизи центрального тела. В этом случае частица не создаёт достаточно сильного собственного магнитного поля и по этой причине не может быть захвачена тяжёлым телом (кривая $iU(ir)$ представляет собой потенциальный барьер высотой $i\mathcal{E}_0$ для частицы). Более того, само тяжёлое тело способно «выплёскивать» в космос низкопотенциальное вещество в виде слабо вращающихся скоплений частиц. Нижняя кривая образует с осями координат и потенциальную яму, и потенциальный барьер; она характеризует поведение вращающейся ($iL \neq 0$) частицы m_2 в планетной системе. Вследствие вращения и взаимодействия магнитных полей частица оказывается захваченной центральным телом с образованием планетной системы. Плоскость орбиты частицы расположается на расстоянии r_{cm} от центра массивного тела, несколько превышающем величину r_g гравитационного радиуса и определяемом положением минимума iU_m функции (дно потенциальной ямы).

Для планет Солнечной системы характерны очень высокие значе-



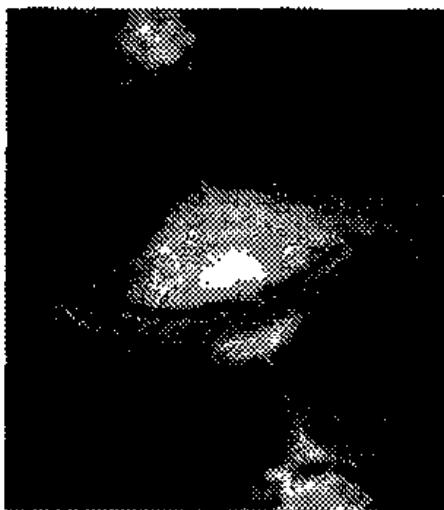
ния момента количества движения: от $iL/mcr_g = 2780$ для Меркурия до $iL/mcr_g = 28600$ для Плутона. В этом случае максимальные значения энергии связи – iU_m , соответственно в 1000 и 11000 раз превышают по абсолютной величине внутреннюю энергию $\delta_0 = m_0 c^2$ планет, что свидетельствует о чрезвычайно высокой

Рис. 4.10. Спиральная галактика с « прожекторами»

устойчивости системы. По указанной причине и вопреки сложившимся представлениям гравитационное взаимодействие следует характеризовать как наиболее сильное из известных взаимодействий.

Графики рис. 4.9 начинаются в точке, отвечающей внутренней энергии частицы и радиусу орбиты $ir = r_g$, задающему минимальное смещение плоскости орбиты частицы от центрального тела, а сходятся к нулевому значению энергии связи при $ir \rightarrow \infty$. Область $ir \leq r_g$ является «запрещённой»: при пересечении её границы (горизонт событий в теории «чёрных дыр») частица приобретает световую скорость и превращается в излучение.

Как видим, функция $iU(ir)$ не имеет бесконечных значений или сингулярностей, которые Эйнштейн в сердцах назвал «проклятьем физики» и наличие которых в ОТО связывают с возможностью образования во Вселенной «чёрных дыр». Вместо этого неоклассическая теория тяготения предсказывает образование в космических объектах или скоплениях вещества области «чистого» излучения или «белой дыры», которую можно отождествить с ярко светящимся ядром, наблюдаемым практически в каждой галактике (рис. 4.10). Из графиков рис. 4.8 также следует, что такие объекты или скопления представляют собой космическую «печку»: они поглощают высоко-потенциальное космическое вещество и теряют низкопотенциальное, образуя так называемый солнечный ветер.



4.7. Тонкие эффекты тяготения

Применим к уравнению (4.16) формулу разложения в ряд и при

учёте (4.8) и (4.2) после простых преобразований получаем

$$(dr/dt)^2 - 2GM/ir + r^2(d\phi/dt)^2 - (2GM/ic^2)(d\phi/dt)^2r = -2c^2.$$

Здесь произведена обратная подстановка $L = mur = m\omega r^2 = mr^2(d\phi/dt)$, где ϕ — угол поворота радиуса-вектора r . Разделим каждое слагаемое последнего выражения на $(d\phi/dt)^2 = L^2/m^2r^4 = H^2/r^4$; получаем дифференциальное уравнение

$$(dr/d\phi)^2 - (2GM/iH^2)r^3 + r^2 - (2GM/ic^2)r = -(2c^2/H^2)r^4.$$

После введения функции $y = 1/r$ и деления на r^4 (учитывая при этом, что $dy/dr = -1/r^2$ и $dr = -r^2dy$) имеем такое уравнение:

$$(dy/d\phi)^2 - (2GM/iH^2)y + y^2 - (2GM/ic^2)y^3 = -2cH^2.$$

Дифференцируя его по ϕ и вводя на основании (4.2) подстановки $iH^2 \equiv H^2$, $ic^2 \equiv c^2$, после сокращения на $2(dy/d\phi)$ приходим к уравнению, определяющему траекторию движения незаряженной частицы вблизи статической сферически симметричной массы, впервые полученному в рамках ОТО:

$$d^2y/d\phi^2 + y = GM/H^2 + (3GM/c^2)y^2.$$

Оно позволяет рассчитать известные тонкие эффекты тяготения [28]: смещение перигелия планет в направлении движения, отклонение световых лучей под действием гравитационного поля, гравитационное красное смещение спектральных линий.

Согласно изложенной неоклассической теории тяготения плоскости планетных орбит в Солнечной системе в статическом (расчётом) состоянии смещены по отношению к центру массы Солнца на величину r_{cm} , несколько превышающую его гравитационный радиус (см. рис. 4.9). А решения (4.16) или (4.17) допускают как отрицательные, так и положительные значения энергии связи в планетной системе. При этом отрицательные значения энергии связи задают «правильное» или прямое вращение планетных спутников, а положительные её значения — «неправильное» или обратное их вращение. Для последних соответствующие функции связи графически представлены на том же рис. 4.9 пунктирными линиями. Видно, что при наличии соответствующего вращения ($iL \neq 0$) такой спутник имеет устойчивую орбиту на дне положительной потенциальной ямы, у слабо вращающегося ($iL \approx 0$) такой орбиты нет. Сказанное позволяет нам дополнить приведённый выше перечень объяснимых гравитационных эффектов, по меньшей мере, ещё одним.

Если провести аналогию с микромиром, в котором «правильно» вращающийся электрон определяет вещество, а «неправильно» вращающийся позитрон — антивещество, то возникают вопросы. В частности, такой: почему объекты с «неправильным» направлением вращения — антивещество — отсутствуют в планетарной атомной модели и не являются редкостью в планетных структурах Солнечной системы? Например, у Сатурна (тело M на рис. 4.11) помимо многочисленных спутников 1, 2 и т. д., вращающихся в «правильную» сторону, имеется один спутник 3 (Феб) с обратным направлением вращения; а у Юпитера таких спутников целых четыре из общего числа семнадцати. Какова физическая причина существования спутников из «антивещества»?

Мы полагаем, что это различие может быть обусловлено явлением индукции магнитных «зарядов» противоположного знака, присущего только макротелам, аналогичного по своему действию и родственно го электрической индукции. На рис. 4.11 основное магнитное поле центрального тела M (большое тём-

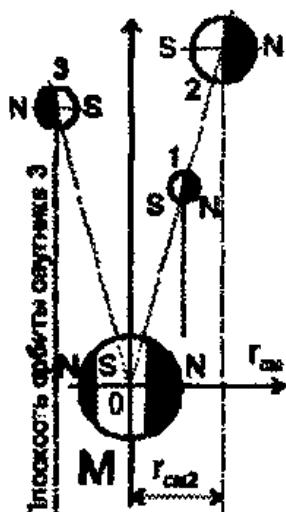


Рис. 4.11. Индукция магнитных «зарядов» на планете M от спутников с прямым и обратным вращением

ное пятно справа) формируется «правильно» вращающимися спутниками 1, 2 и т. д. Результатом этого является «законное» взаимное гравитационное или магнитное притяжение этих спутников и центрально го тела. К спутнику 3 обратного направления вращения тело M применяет «незаконный» приём: локальное упорядочение магнитной структуры вещества (малое тёмное пятно с левой стороны тела), обеспечивающее его надёжную связь с центральным телом. Косвенно наше объяснение оправдывается фактом отсутствия в Солнечной системе планет с обратным направлением вращения: горячее вещество Солнца не обладает свойством индукции магнитных зарядов.

4.8. Пример. Антигравитационный проект

Снова обратимся к рис. 3.4 и положим, что современный этап эво-

люции Солнечной системы отвечает режиму устойчивого равновесия системы тело-поле — точке *A* на графике, — при котором масса *im* системы в два раза превышает массу m_0 покоящейся частицы. Возникает законный вопрос: с какой из указанных двух масс мы имеем дело при взвешивании тел на Земле? Поскольку процесс взвешивания фиксирует силу притяжения тела к Земле, осуществляемого посредством гравитационных силовых полей, ответ очевиден: при взвешивании мы имеем дело с общей массой *im* системы тело-поле. Это означает, что в процессе взвешивания мы традиционно допускаем методическую «ошибку»: фиксируем не массу «голого» или покоящегося тела, входящего в уравнение Эйнштейна $E_0 = m_0 c^2$, а в два раза завышенную; и для корректной оценки массы m_0 необходимо как-то избавиться от влияния силового поля. Последнее, согласно принятому в главе 3 определению указанной массы, может быть принципиально достигнуто путём раскрутки частиц тела до световых скоростей вращения, при которых частицы «сбрасывают» силовые поля (излучают своё поле) и в силу этого могут стать невидимыми. При более низких скоростях вращения следует ожидать появления эффекта частичного уменьшения общей гравитационной массы тел *im*, что и наблюдается на практике, в частности, в экспериментах с гирокомпактами [29]. Из этого следует, что антигравитационные проекты с использованием эффекта вращения тел являются бесперспективными, поскольку принципиально не обеспечивают режима полной компенсации гравитационных сил (нуль-гравитации). А именно такой режим нас интересует прежде всего.

Согласно соотношению (4.12) гравитация обусловлена отрицательной энергией притяжения тела к Земле. Поэтому управление гравитацией — это прежде всего энергетическая проблема: сообщив телу соответствующую положительную энергию, можно надеяться на полное избавление от действия на него сил тяготения. Практика космических исследований подтверждает сказанное: чтобы нейтрализовать действие сил земного тяготения, достаточно, в частности, сообщить ему кинетическую энергию, равную энергии связи с Землёй согласно соотношению (4.8); а чтобы предотвратить быстрое рассеивание этой энергии в окружающую среду, необходимо предварительно вывести тело в безвоздушное околоземное пространство.

Таким образом, главным и совершенно необходимым условием

реализации любого нуль-гравитационного проекта является «накачка» аппарата положительной энергией W , отвечающей условию:

$$W \geq gmR;$$

здесь $g = GM/R^2$ — ускорение силы тяжести на поверхности Земли, m — взлётная масса аппарата, R — радиус Земли, M — масса Земли, G — гравитационная постоянная. Это условие позволяет сразу отсеять из числа принципиально реализуемых проекты так называемых пассивных гравитационных экранов, использующих те или иные специальные материалы и конструкции для «защиты» от гравитационных полей. Коль скоро такие экраны не сообщают телу соответствующей

положительной энергии, их способность разорвать гравитационные связи тела с Землёй противоречит закону сохранения

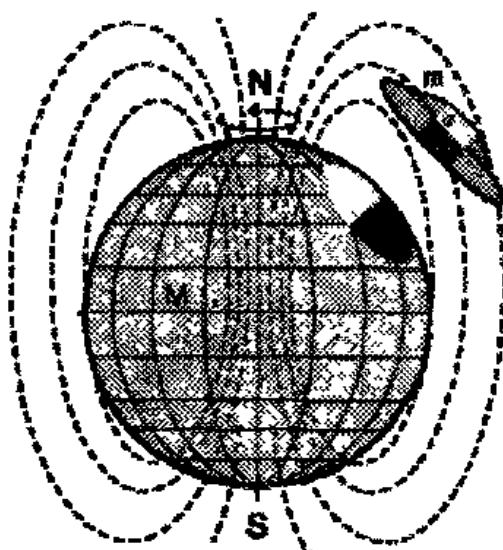


Рис. 4.12. Аппарат с магнитным гравитационным экраном

энергии. Задача если и может быть решена принципиально, то только с помощью активных экранов — силовых полей антигравитационной природы.

На рис. 4.12 представлена принципиальная схема управления гравитацией, являющаяся очевидной в рамках рассматриваемой нами магнитной концепции тяготения. Здесь зависший над Землёй и «правильно» врачающийся вместе с ней аппарат массой m окружён магнитным полем (не показано), создаваемым электромагнитной катушкой или соленоидом, которое призвано локально нейтрализовать гравитационное поле Земли: если инертная масса m аппарата индуцирует на поверхности планеты северный магнитный полюс, то катушка должна индуцировать равный по величине южный. Подсчитаем энергию, потребную для такой нейтрализации.

Параметры катушки-соленоида подсчитываются по известному соотношению для плотности электромагнитной энергии:

$$W/V = \frac{1}{2}(B^2/\mu_0), = \frac{1}{2}(\mu_0 H^2) = \frac{1}{2}BH,$$

где B — магнитная индукция, H — напряжённость магнитного поля, V — объём внутренней рабочей полости соленоида, μ — магнитная про-

ницаемость, μ_0 — магнитная постоянная. А режим нуль-гравитации обеспечивается при условии

$$m/V \leq W/VgR,$$

где знак равенства характеризует идеальный случай полного отсутствия потерь на излучение защитного силового поля, m/V — удельная (на единицу рабочего объема катушки-соленоида) взлётная масса аппарата, $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$ — ускорение силы тяжести, $R = 6,37 \cdot 10^6 \text{ м}$ — средний радиус Земли. Для аппарата скромного персонального класса, имеющего катушку диаметром $D = 2,0 \text{ м}$ и высотой $H = 1,0 \text{ м}$ при взлётной массе $m = 1000 \text{ кг}$ получаем:

$$W/V \geq 20 \cdot 10^6 \text{ КДж/м}^3.$$

Эта величина почти на три порядка превышает аналогичный параметр (по некоторым данным равный $40 \cdot 10^3 \text{ КДж/м}^3$), теоретически достижимый в сверхпроводящих конструкциях магнитных систем, разрабатываемых для реализации реакций термоядерного синтеза.

Выводы к главе 4

- Гравитация обусловлена магнитными полями вращающихся инертных масс, годовое обращение планет Солнечной системы — природным свойством свободных тел к самовращению, а суточное их вращение — кинетической энергией составляющих планету частиц или энергией связи их с Солнцем.
- Неоклассическая физическая концепция предлагает альтернативную схему зарождения и эволюции Солнечной системы, даёт простое теоретическое обоснование закона всемирного тяготения Ньютона и известных тонких эффектов гравитации.
- Магнитная концепция тяготения лишена проблемы сингулярностей, отрицает возможность формирования во Вселенной «чёрных дыр» и закрывает проблему гравитационных волн.

Глава 5. ТЕРМОДИНАМИКА

На базе уравнения вращательно-поступательного движения молекулы газа строится всё здание термодинамики; раскрывается физическое содержание основных термодинамических понятий: теплоты, внутренней энергии, энталпии и энтропии.

5.1. Состояние вопроса и постановка задачи

Классическое учение о теплоте [30] строится на двух уровнях: микроскопическом в виде кинетической теории газа и макроскопическом, получившим наименование термодинамического метода.

На микроскопическом уровне применяется динамический метод: молекулы газа представляются в виде прямолинейно движущихся твёрдых частиц, поведение которых подчиняется уравнениям динамики Ньютона. В результате удается получить уравнение состояния идеального газа, устанавливающее связь между основными его параметрами: давлением, объёмом и температурой. На макроскопическом уровне это уравнение и закон сохранения энергии как результат обобщения опыта используются для описания конкретных тепловых процессов общими математическими методами, без внимания к их внутренним механизмам. Такой подход способствует пониманию физической сути явлений и установлению связи между свойствами системы многих частиц в целом (газа) и поведением отдельных её составляющих (молекул). Однако при этом наблюдаются существенные расхождения результатов теории с экспериментальной зависимостью теплоёмкости от температуры газа, а также возникает проблема тепловой смерти Вселенной.

Положение усугубляется тем, что сама кинетическая теория газов — физический базис классической термодинамики — на поверку оказывается внутренне противоречивой. Она исходит из модели идеального газа, в которой молекулы представляются материальными точками, не имеющими объёма; а приходит к выводу о ненулевом значении этого объёма: на основании закона Авогадро последний может быть подсчитан, например, путём деления объёма одного ки-

ломоля газа ($22,4 \text{ м}^3$ для нормальных условий) на число молекул в нём ($N_A = 6,023 \cdot 10^{26}$ — постоянная Авогадро).

Указанные обстоятельства порождают чувство незавершённости классической теории теплоты и вызывают недоверие к её выводам, в частности, в отношении невозможности практической реализации вечного двигателя второго рода [31]. А нефизический или статистический характер второго закона термодинамики это недоверие ещё более усиливает.

Современная теория теплоты исключила из своего арсенала динамический метод описания поведения частиц, ошибочно полагая, что для системы многих частиц такое описание «неосуществимо с технической, непригодно с теоретической и бесполезно с практической точек зрения» [32]. Она представляет собой комбинацию двух по сути чисто математических методов — статистического и термодинамического, а при необходимости прибегает к помощи квантовой механики. В результате физическое содержание в теории всё больше уступает место математическому формализму, что никак не способствует пониманию физической картины тепловых явлений вообще и причин бесперспективности попыток создания вечного двигателя в частности. Путём решения уравнений квантовой механики в каждом конкретном случае удается качественно объяснить зависимость теплоёмкости газа от температуры. Однако общего аналитического решения на этот счёт до сих пор не получено, а проблема тепловой смерти Вселенной также остаётся нерешённой.

Более подробно остановимся на главном недостатке традиционных представлений о теплоте: очевидной противоречивости основных её понятий — теплоты и энтропии. Эти противоречия связаны с математическими понятиями полного дифференциала и функции состояния. Типичным примером функции состояния является внутренняя энергия W термодинамической системы, например, единицы массы газа [33]. Это означает, что внутренняя энергия представляет собой однозначную функцию параметров газа, в частности, давления p и объёма V . Поэтому изменение внутренней энергии в каком-либо процессе не зависит от характера его, а определяется начальными и конечными состояниями газа. Так, в процессах a и b (рис. 5.1), в которых начальные 0 и конечные 1 состояния газа одинаковы, одинаковыми будут и изменения внутренней энергии. Математиче-

ски это означает, что функция $W(p, V)$ дифференцируема в заданном интервале изменения параметров p и V , и малое приращение внутренней энергии ΔW является её полным дифференциалом, определяемым частными приращениями от изменения каждого из параметров Δp и ΔV .

Очевидно, что если процесс замкнут (процесс b на рис. 5.1), т. е. если по завершении его газ возвращается в исходное

Рис. 5.1. Функция состояния

состояние (такие процессы в термодинамике называют также круговыми процессами или циклами), то изменение внутренней энергии в нём будет равно нулю:

$$\Delta W = \oint dW = 0.$$

Это означает, что извлечь внутреннюю энергию из газа в каком-либо замкнутом термодинамическом процессе над ним не представляется возможным.

Энтропия S системы в традиционной термодинамике также определяется как функция состояния, а её приращение как полный дифференциал от приведённой теплоты:

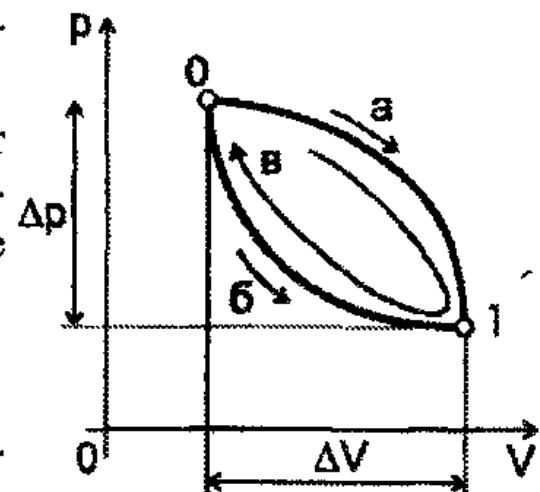
$$dS = \delta Q/T,$$

где δQ — бесконечно малое приращение теплоты, T — абсолютная температура газа. В то же время для различных процессов — изохорного и изобарного — приращение энтропии подсчитывается по разным формулам [33]:

$$S_1 - S_0 = C_V \ln(T_1/T_0) \text{ — для изохоры,}$$

$$S_1 - S_0 = C_p \ln(T_1/T_0) \text{ — для изобары;}$$

здесь и далее снова индексами 0 и 1 обозначены начальное и конечное состояния газа, а C_V и C_p — теплоёмкость газа при постоянном объёме и постоянном давлении соответственно. Поскольку для газа $C_p > C_V$, оказывается, что одному и тому же изменению температуры в изобарном процессе соответствует большее изменение энтропии, чем в изохорном. Это обстоятельство противоречит определению энтропии как функции состояния.



В противоположность внутренней энергии и энтропии, теплота в классической и современной термодинамике предстаёт функцией процесса, а не состояния; т.е. элементарное количество тепла δQ , сообщаемого системе в процессе малого изменения её состояния, не является полным дифференциалом dQ [34], что нашло отражение и в обозначении δQ этой величины. Иными словами, для перевода системы из одного состояния в другое с помощью различных термодинамических процессов ей нужно сообщать, вообще говоря, различные количества тепла. Тогда имеем уравнение

$$\Delta Q = \oint \delta Q \neq 0,$$

принципиально разрешающее извлекать тепловую энергию из ничего путём организации подходящего цикла. Это обстоятельство грубо противоречит первому началу термодинамики. По-видимому, именно в этой противоречивости традиционной термодинамики следует искать ответ на вопрос: «Почему всё же изобретают вечные двигатели?» [31].

В данной работе классический подход к решению проблемы теплоты развивается в направлении уточнения характера движения молекул газа и органичного объединения микро- и макроскопического подходов, динамического и термодинамического методов (неоклассическая или полевая концепция теплоты). При этом мы исходим из общепринятого определения молекулы вещества как мельчайшей частицы, обладающей всеми свойствами этого вещества. Оно побуждает признать, что макроскопические или среднеинтегральные характеристики газа — давление, объём и температура — имеют смысл постольку, поскольку аналогичные характеристики можно и должно определить и для отдельной молекулы, на микроскопическом уровне. Результатом такого рассмотрения оказывается радикальное упрощение теории, существенное обогащение её физическим содержанием и благополучное разрешение выше названных принципиальных проблем и противоречий термодинамики. При этом проблема вечного двигателя увязывается с физической природой теплоты и становится абсолютно прозрачной.

5.2. Теплота, внутренняя энергия и энталпия газа

Дифференциальные уравнения (1.14) и (1.16) содержат упругую

и инерционную составляющую и поэтому могут быть смоделированы в виде подрессоренной массы или линейного осциллятора. Следовательно в общем случае они описывают колебательный процесс как таковой и, в частности, справедливы также для представления тепловых колебаний (линейных, угловых) молекул вещества как связанных (жидкое и твёрдое вещества), так и свободных (пар, газ). Мы ограничимся здесь рассмотрением последнего случая как наиболее простого и важного, имея в виду преимущественное распространение газа и пара в качестве рабочего тела тепловых машин. При этом рис. 1.3 будет представлять модель свободного движения молекул газа при учёте их взаимодействия с собственным силовым (тепловым) полем, а соотношение (1.17) определять скорость деформирования этого поля или скорость распространения звука в газе (паре).

В общем случае наличия силы \mathbf{F} внешнего воздействия на молекулу в потоке газа или при его деформировании вместо уравнений (1.16) и (1.14) баланса сил имеем:

$$\mathbf{F} + [i\mathbf{K}, i\mathbf{u}/c] + (m i^2 u^2/r)\mathbf{r}^0 = 0,$$

$$\mathbf{F} + [\mathbf{u}/c, \mathbf{K}] + mdu/dt = 0.$$

Умножим скалярно первое уравнение на вектор \mathbf{r} , а второе, опираясь на определение (1.17) скорости звука, на вектор $d\mathbf{r} = -dr\omega^0 = -cdt\omega^0$, где ω^0 — единичный вектор угловой скорости. В результате простых преобразований имеем следующие уравнения баланса энергии на молекулярном уровне:

$$H_j = Q_j + W_j, \quad (5.1)$$

$$-dQ_j = dW_j + dL_j. \quad (5.2)$$

Здесь и далее введены следующие определения и обозначения: энталпия молекулы деформируемого или перемещаемого газа

$$H_j = \mathbf{Fr};$$

теплота, заключённая в молекуле газа, и её приращение

$$Q_j = -[i\mathbf{K}, i\mathbf{u}/c]\mathbf{r} = rKu/c, \quad (5.3)$$

$$dQ_j = [\mathbf{u}/c, \mathbf{K}]d\mathbf{r} = d(rKu/c); \quad (5.4)$$

элементарная работа деформирования поля молекулы внешней силой

$$dL_j = \mathbf{F}d\mathbf{r};$$

полная энергия движения молекулы, определяющая так называемую внутреннюю энергию газа, и её приращение.

$$W_j = mu^2 = W_{jB} + W_{jP}, \quad (5.5)$$

$$dW_j = mcdu \quad (5.6)$$

Внутренняя энергия (5.5) представлена нами в виде суммы двух одинаковых по величине составляющих: кинетической энергии вращения молекулы и кинетической энергии свободного поступательного движения

$$W_{jB} = W_{jP} = \frac{1}{2}mu^2.$$

Приведённые соотношения чётко определяют физическое содержание основных термодинамических понятий: теплота Q_j обусловлена энергией упругого деформирования силового поля молекул газа; внутренняя энергия W_j есть полная механическая энергия движения самих молекул газа; энталпия H_j характеризует полную энергию молекулы газа, определяемую суммой тепловой и внутренней энергии; элементарная работа dL_j характеризует энергию внешнего воздействия на молекулу газа при организации его направленного потока или деформировании.

5.3. Температура, давление и уравнение состояния газа

В определениях (5.3) и (5.4) для теплоты и её приращения выражим величину K модуля упругости изотропного силового поля молекулы газа через удельное его значение k и характерную (динамическую) площадь πr^2 молекулы; в результате имеем:

$$Q_j = \pi r^3 ku/c, \quad (5.7)$$

$$dQ_j = d(\pi r^3 ku/c). \quad (5.8)$$

Таким образом, приращение теплоты в нашем случае является полным дифференциалом по определению, а теплота — функцией состояния системы. Далее будем рассматривать газ как идеальную упругую среду, характеризуемую постоянством модуля упругости $k = \text{Const}$ (для реальных газов это условие может не выполняться).

Величину $V_j = \pi r^3$ определим как динамический (тепловой) объём, занимаемый молекулой. Введём также определения для температуры газа

$$T = \pi r^3 u/c = V_j u/c \quad (5.9)$$

как степени деформирования динамического объёма молекул, отражающего факт нагревания газа при сжатии; и для давления газа или

напряжения силового поля молекул, определяемого законом упругости Гука
 $p = k u/c.$

Определение (5.7) в этом случае прямо приводит к тождеству, определяющему уравнение состояния идеального газа и закон Авогадро на молекулярном уровне: $Q_j = kT \equiv pV_j.$ (5.10)

Последний гласит: *при одинаковых температуре и давлении молекулы разных газов занимают один и тот же объём.*

Для N молекул, занимающих объём V , соответственно имеем:

$$pV \equiv kNT.$$

Видим, что уравнение состояния газа характеризует возможные формы количественного представления теплоты: либо через абсолютную температуру, либо через произведение давления газа на занимаемый им объём; а удельный модуль упругости силового поля молекулы есть ничто иное как постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К. Если V — объём одного моля газа, $N = N_A$ — число молекул в нём (постоянная Авогадро), то уравнение состояния идеального газа имеет вид:

$$pV \equiv RT, \quad (5.11)$$

где $R = kN_A = 8,314$ Дж/(моль·К) — универсальная газовая постоянная. В принятых обозначениях полная энергия молекулы газа определяется выражением: $H_j = W_j + pV_j.$

Оно совпадает по форме с определением энталпии газа в классической термодинамике и представляет собой сумму внутренней и тепловой энергии молекул газа, которую в термодинамике называют также теплосодержанием.

5.4. Первое начало термодинамики

Из определения (5.8) для приращения теплоты или соотношения (5.10) путём их дифференцирования приходим к следующему выражению:

$$dQ_j = kdT = V_j dp + pdV_j. \quad (5.12)$$

Оно показывает, что процесс подвода теплоты к газу сводится к повышению его температуры и в общем случае сопровождается увеличением его давления и объёма, а в частных может происходить либо при постоянном объёме (первое слагаемое правой части), либо при постоянном давлении (второе слагаемое). На рис. 5.2 составляющие

этого соотношения представлены графически на pV -диаграмме произвольного термодинамического процесса.

Подвод теплоты к газу при постоянном давлении сопровождается увеличением объёма газа, поэтому второе слагаемое уравнения (5.12) описывает процесс превращения теплоты в механическую работу dL , расши-

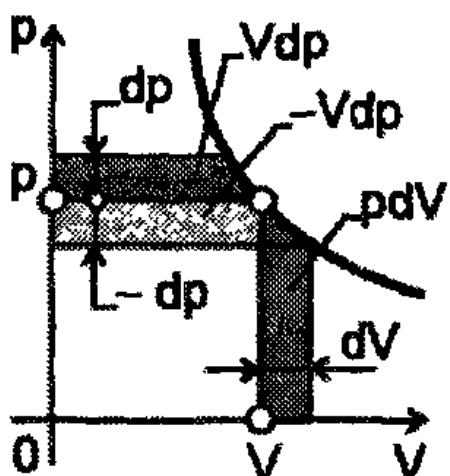


Рис. 5.2. Элементарная внутренняя энергия Vdp и элементарная работа pdV на pV -диаграмме

рения молекулы газа. Сравнивая теперь уравнения (5.12) и (5.2) и учитывая, что согласно определению (5.4) для приращения теплоты $dQ_j = [u/c, K]dr = -[K, u/c]dr = -dQ_j$,

приходим к ещё одному определению приращения внутренней энергии:

$$dW_j = V_j dp = -V_j dp; \quad (5.13)$$

параметр $-V_j dp$ также представлен в графической форме на рис. 5.2.

Теперь для газа в целом вместо (5.12) имеем уравнение

$$dQ = dW + dL. \quad (5.14)$$

Если процесс осуществляется без теплообмена (сжатие или расширение газа при $dQ = 0$), то согласно (5.12) и (5.14) происходит взаимное и эквивалентное превращение работы dL во внутреннюю энергию dW газа и обратно.

Уравнения (5.12) и (5.14) определяют первый закон или первое начало термодинамики в приложении к молекуле и газу. Применительно к газу в целом он формулируется так: *подводимая к газу теплота затрачивается на повышение его внутренней энергии и совершение механической работы расширения*. Причём эта возможность получения механической работы, равно как и сам закон (5.12), в нашем случае предстают не как результат обобщения опыта, а следуют из определения теплоты, являются органическим свойством последней. Из закона, в частности, следует: чем больше способность рабочего тела к изменению объёма dV (лучше упругие свойства или сжимаемость), тем выгоднее его использовать для получения работы в тепловой машине. Напротив, плохо сжимаемые, жёсткие тела для этих целей мало при-

годны. По этой причине исключительное применение в качестве рабочего тела в тепловых машинах получили газ и пар и практически не используются ни жидкости, ни твёрдые тела.

Для количественных расчётов тепловых процессов по уравнениям (5.12) или (5.14) используют понятия теплоёмкости газа, измеряемой при постоянном объёме или постоянном давлении.

5.5. Теплоёмкость газа и скорость звука

Определим предельно низким такое температурное состояние газа, при котором он превращается в жидкость. В этом случае молекулы газа перестают быть свободными и обретают связь, т.е. кинетическая энергия свободного поступательного движения молекул в соотношении (5.5) становится равной нулю и вся внутренняя энергия газа-жидкости обусловлена кинетической энергией вращения молекул $\frac{1}{2} m u^2$. Для покоящегося вещества ($H_j = 0$) согласно (5.1) в этом состоянии имеем равенство $Q_j = -W_j$. При учёте (5.10) это приводит к следующему выражению для внутренней энергии молекулы:

$$W_{0j} = \frac{1}{2} m u^2 = \frac{1}{2} k T. \quad (5.15)$$

Используем далее последний результат в качестве граничного условия при интегрировании соотношения (5.6); в результате имеем:

$$W_j = mcu + \frac{1}{2} m u^2 = kT(n + \frac{1}{2}),$$

где введено $n = c/u = 1,2,3\dots$ — условие стационарного режима движения молекул (режима стоячей волны), при котором реализуется известный из опыта квантовый характер энергетических уровней молекул.

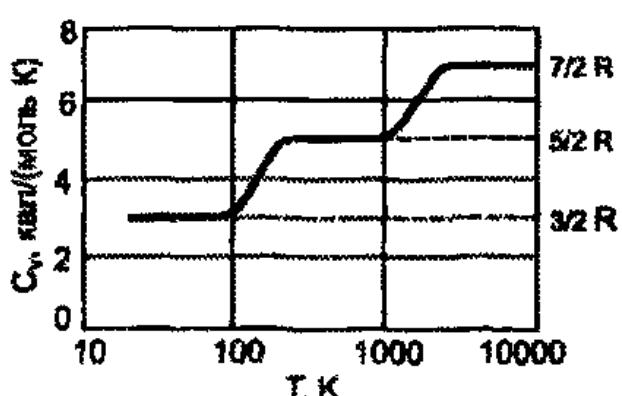
В свою очередь полученный результат приводит к следующему определению теплоёмкости при постоянном объёме или собственной (внутренней) энергоёмкости молекулы и газа в целом:

$$\begin{aligned} C_{jV} &= dW_j/dT = k(n + \frac{1}{2}), \\ C_V &= C_{jV} N_A = R(n + \frac{1}{2}). \end{aligned} \quad (5.16)$$

Оно хорошо согласуется с экспериментальной зависимостью $C_V(T)$ для молекулярного водорода (рис. 5.3): при низкой температуре (в области 50К) его теплоёмкость равна $3R/2$, что соответствует значению $n = 1$ в формуле (5.16), при комнатной температуре теплоёмкость водорода равна $5R/2$ ($n = 2$), а при очень высокой температуре

она становится равной $7R/2$ ($n = 3$) [32].

Из определения (5.8) далее имеем следующие выражения для истинной теплоёмкости молекулы и газа:



$$C_j = dQ_j/dT = k, \\ C = dQ/dT = R \quad (5.17)$$

Рис. 5.3. Экспериментальная зависимость C_v молекулярного водорода от температуры

а из соотношения (5.1) — для теплоёмкости при постоянном давлении или полной энергоёмкости молекулы и газа:

$$C_{jp} = dH_j/dT = C_j + k, \\ C_p = dH/dT = C_v + R. \quad (5.18)$$

На основании (5.15) и при учёте (5.9) приходим к следующему выражению для определения скорости звука и скорости молекул в предельном состоянии газа:

$$cu = kT/m = k/\rho,$$

где $\rho = m/V$ — плотность молекул и газа в целом. При этом скорость звука связана со скоростью молекул простой зависимостью

$$c = nu.$$

Видим, что при низких температурах ($n = 1$) скорость звука в газе определяется скоростью движения молекул, при комнатных температурах ($n = 2$) первая в два раза превышает вторую, а при сильном нагреве газа ($n = 3$) это превышение становится трёхкратным. Отсюда следует принципиально важный вывод: распространение звука в газе обусловлено упругими деформациями молекулярных силовых (тепловых) полей, а не движением самих молекул газа. Скорости распространения звука и движения молекул совпадают только при достаточно низких температурах газа.

5.6. Второе начало термодинамики

В тепловых машинах при нагреве, деформировании и перемещении рабочего газа реализуется условие $F \neq 0$, $dL_j > 0$. Поэтому в общем случае вместо (5.2) можно записать

$$-dQ_j - dW_j \geq 0.$$

А из закона сохранения энергии (5.12) следует:

$$dQ_j - V_j dp \geq 0.$$

Складывая левые и правые части этих уравнений и учитывая (5.13), приходим к следующему важному соотношению:

$$V_j dp \geq 0. \quad (5.19)$$

Оно утверждает, что любое механическое воздействие извне на термодинамическую систему, в данном случае на молекулу газа, неизбежно приводит к повышению внутренней энергии этой системы; количество теплоты в газе при этом остаётся неизменным.

Поделив далее обе части последнего неравенства на абсолютную температуру, после простых преобразований с учётом определений (5.8) и (5.9) получаем $dk \geq 0$ или $dS_j \geq 0$. (5.20)

Здесь параметр $dS_j = dQ_j/T = dk$

определяет прирост так называемой энтропии молекулы — теплоты, приведённой к единице абсолютной температуры. Видим, что физически этот прирост выражается в увеличении жёсткости dk рабочего газа, сопровождаемом повышением его внутренней энергии (5.19) и соответствующим снижением работоспособности или деградацией теплоты согласно (5.12).

Полученные соотношения определяют второе начало или второй закон термодинамики, вводя в реальные тепловые процессы потери работы вследствие несовершенства рабочего тела, равноценные потерям приведённой теплоты (энтропии). Эти потери связаны с наличием силы F внешнего воздействия на молекулы рабочего тела в открытых системах, и делают реальные тепловые процессы необратимыми, в то время как в идеальных (закрытых) системах или обратимых процессах (изолированный газ) энтропия сохраняется неизменной. Закон возрастания энтропии (5.20) определяет, таким образом, направление реальных тепловых процессов: они протекают с потерей упругих свойств рабочего тела или деградацией теплоты.

Уравнение (5.12) для деформируемого газа ($F \neq 0$) обретает форму неравенства $dQ = TdS \geq Vdp + pdV$.

Оно представляет собой основное соотношение термодинамики, объединяющее в себе её первое и второе начала.

5.7. Статистическое толкование энтропии

Рассматривая Вселенную как изолированную систему и распространяя на неё второй закон термодинамики, Р. Клаузус пришёл к выводу о неизбежности «тепловой смерти» Вселенной, при которой в неизбежном будущем в ней будет достигнуто состояние термодинамического равновесия и всякие процессы прекратятся. Этот вывод вызвал много споров, которые не прекращаются до сих пор. Из сказанного в предыдущем разделе следует, что к Вселенной в целом как изолированной системе ($F = 0$) второе начало термодинамики неприменимо по определению. В силу этого предсказанная Р. Клаузусом «тепловая смерть» вследствие непрерывного возрастания энтропии ей не угрожает. Понятие энтропии применимо исключительно к открытым (неизолированным) термодинамическим системам.

Напомним, что ни классическая, ни современная термодинамика не отрицают применимости второго начала к изолированным системам и в силу этого принципиально не могут противостоять упомянутому выше утверждению Клаузуса достаточно решительно. Они опираются на статистическое толкование второго закона с помощью формулы Больцмана:

$$S = k \ln P,$$

где P — термодинамическая вероятность состояния системы. При этом второй закон термодинамики формулируется следующим образом: *природа стремится от состояния менее вероятного к состоянию более вероятному*.

Таким образом, являясь статистическим законом, второй закон классической термодинамики выражает закономерности хаотического движения большого числа частиц, входящих в состав изолированной системы. Для систем с относительно малым или бесконечным числом частиц второй закон термодинамики неприменим: в первом случае из-за возможных значительных флуктуаций, во втором — из-за равновероятности всех микросостояний [34].

Как видим, формулировка второго закона термодинамики, данная Больцманом, содержит в себе указание на относительность (нефундаментальность) этого закона и на недопустимость распространения его на всю Вселенную в целом. В масштабах последней «на отдельных её участках вполне вероятны весьма мощные флуктуации энтропии. На этих участках естественными и самопроизвольными будут те

процессы, которые сопровождаются не ростом, а уменьшением энтропии» [33].

«Решив» таким образом проблему тепловой смерти Вселенной, классическая и современная термодинамика одновременно предоставили карт-бланш изобретателям вечных двигателей второго рода. В самом деле, равновесную окружающую среду вполне правомерно представить как систему с бесконечным числом частиц (молекул) и на этом основании игнорировать второй закон термодинамики. С другой стороны, тепловой двигатель в масштабах окружающей среды представляет собой систему с относительно малым числом частиц, для которой второй закон термодинамики также неприменим. Возможность отбора теплоты от окружающей среды для выполнения работы оказалась, таким образом, вполне легитимной. Тем более, что для отопления помещений посредством тепловых насосов отбор теплоты от окружающей среды широко практикуется.

5.8. Термодинамические процессы

Вся работа газовых тепловых машин строится на базе четырёх термодинамических процессов: сжатия и расширения (деформирования) газа, его нагрева и охлаждения (теплообмена). Для описания процессов теплообмена обратимся к уравнению (5.12) сохранения и превращения тепловой энергии.

Разделим слагаемые его на абсолютную температуру; с учётом определения (5.10) для газа в целом имеем два уравнения:

$$dS = dQ/T = RdT/T,$$

$$dS = dQ/T = Vdp/T + pdV/T = R(dp/p + dV/V);$$

в последнем из них использована подстановка $T = pV/R$ на основании (5.11). В результате интегрирования получаем:

$$\Delta S = Q_1/T_1 - Q_0/T_0 = S_1 - S_0 = R \ln(T_1/T_0), \quad (5.21)$$

$$\Delta S = Q_1/T_1 - Q_0/T_0 = S_1 - S_0 = R \ln(p_1/p_0) + R \ln(V_1/V_0). \quad (5.22)$$

Уравнение (5.21) представляет собой физический аналог статистической формулы Больцмана и ставит изменение энтропии в общем случае исключительно в зависимость от температуры нагрева-охлаждения газа. Таким образом, изменение энтропии не зависит от характера процесса, а определяется параметрами T_0 и T_1 начального и

конечного состояний. Иными словами, энтропия является функцией состояния газа.

Уравнение (5.22) предоставляет возможность подсчёта приращения энтропии по известным изменениям объёма и давления газа. Процессы теплообмена в режимах постоянного объёма и постоянного давления выражаются частными формами полученных уравнений:

$$\Delta S_V = R \ln(p_1/p_0), \Delta S_p = R \ln(V_1/V_0).$$

При $\Delta S = 0$ и $\Delta Q = 0$ имеем уравнение адиабаты

$$\ln(p_1/p_0) + \ln(V_1/V_0) = 0,$$

утверждающее: в отсутствие теплообмена понижение давления в процессе расширения газа ($p_0 > p_1$) приводит к уменьшению энтропии (отрицательное значение приращения энтропии), а увеличение объёма ($V_0 < V_1$) — к такому же увеличению её (положительное при-

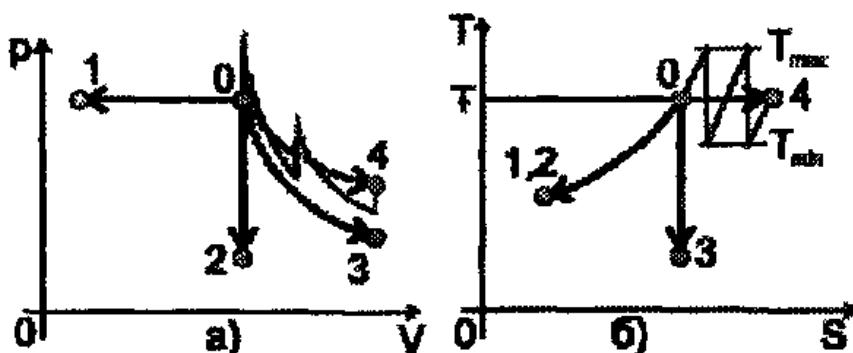


Рис. 5.4. Термодинамические процессы на диаграммах pV (а) и TS (б): 0-1 — изобара охлаждения, 0-2 — изохора охлаждения, 0-3 — адиабата расширения, 0-4 — квазитерма нагрева газа

ращение энтропии). В результате оказывается, что в адиабатных процессах сжатия и расширения газа энтропия сохраняется неизменной (изоэнтропийные процессы). На рис. 5.4 даны примеры графического представления полученных уравнений на pV - и TS -диаграммах; здесь 0-1 — изобара ($p = \text{Const}$) охлаждения газа, 0-2 — изохора ($V = \text{Const}$) охлаждения газа, 0-3 — адиабата ($S = \text{Const}$) расширения газа.

Из уравнения (5.21) следует, что при отсутствии градиента температур ($T_1 = T_0$) теплота и энтропия не передаются: $\Delta Q = 0$, $\Delta S = 0$. Этот принципиально важный теоретический вывод, подтверждаемый широкой практикой, традиционная термодинамика не предсказывает. Более того, режим подвода теплоты по изотерме ($T = \text{Const}$) рассмат-

ривается в ней как вполне легитимный наряду с другими. В нашем случае он может быть представлен только в качестве квазизотермического или квазитермического процесса 0-4 (пунктирные линии на рис. 5.4), реализуемого ступенчатой комбинацией режимов изохорного (изобарного) нагрева с адиабатным расширением газа, как это показано на рис. 5.4 тонкой сплошной линией. Для этого случая температура $T = \text{Const}$ представляет собой среднеинтегральную характеристику нагрева-расширения, определяемую по соотношению [33]:

$$T = Q/\Delta S = (T_{\max} - T_{\min})/\ln(T_{\max}/T_{\min}),$$

где T_{\max} и T_{\min} — максимальное и минимальное значения температур в ступенчатом квазитермическом процессе 0-4.

Уравнение адиабаты для pV -плоскости получается при совместном решении уравнений (5.1) и (5.2). При учёте (5.13) и $dQ = 0$ для газа в целом имеем:

$$\begin{aligned} -dQ &= dW + pdV = C_V dT + pdV = 0, \\ dQ &= dH - Vdp = C_p dT - Vdp = 0. \end{aligned}$$

Из этих уравнений следует:

$$C_V dT = -pdV, C_p dT = Vdp.$$

Разделив второе равенство на первое, получаем

$$C_p/C_V = -Vdp/pdV.$$

Это соотношение представляет собой важную характеристику адиабатного процесса, называемую показателем адиабаты:

$$\chi = -Vdp/pdV;$$

или

$$dp/p + \chi dV/V = 0.$$

Интегрируя это дифференциальное уравнение, окончательно имеем

$$\ln p + \chi \ln V = \text{Const},$$

или

$$pV^\chi = \text{Const}.$$

Используя (5.16) и (5.18), получаем следующее расчётное выражение для показателя адиабаты:

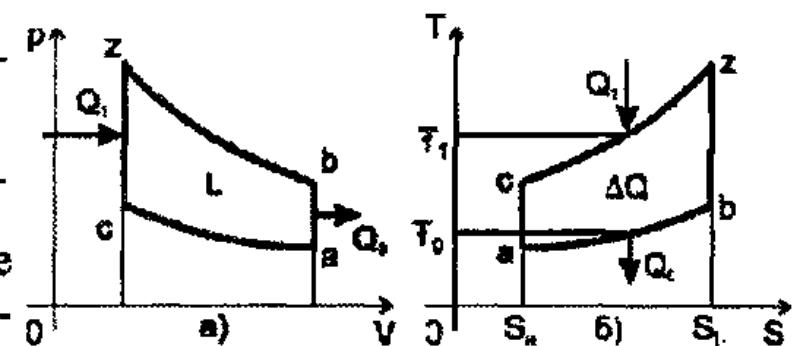
$$\chi = 1 + 1/(n + \frac{1}{2}).$$

Для комнатных температур ($n = 2$) это даёт величину $\chi = 1,4$, для высоких температур ($n = 3$) имеем $\chi = 1,286$. Эти цифры хорошо согласуются с данными опыта.

5.9. Термодинамические циклы

Особую роль в термодинамике играют замкнутые тепловые процессы или циклы: реализация цикла в тепловой машине есть необходимое условие её непрерывной и стабильной работы. В качестве примера на рис. 5.5 представлены pV - и TS -диаграммы цикла бензинового двигателя (цикл Отто), включающего сжатие рабочего тела по адиабате ac , подвод к нему тепла по изохоре cz , расширение газа по адиабате zb и отвод тепла по изохоре ba . Площади фигур $aczb$ на диаграммах характеризуют положительную работу L , произведенную в цикле, и затраченную на это теплоту ΔQ .

Рис. 5.5. pV - и TS -диаграммы цикла Отто



Видно, что в результате циклического процесса система возвращается в исходное состояние, отвечающее точке a на диаграммах. В уравнении (5.12) в этом случае следует положить внутреннюю энергию неизменной ($V_j dp = 0$); в результате интегрирования для моля газа имеем

$$Q_1 - Q_0 = \Delta Q = L, \quad (5.23)$$

где $Q_0 \neq 0$ — постоянная интегрирования, характеризующая тепловую энергию окружающей среды или тепловой потенциал Земли, от которого традиционно производится отсчет теплоты. А в уравнении (5.21) следует положить $T_1 = T_0$, что приводит к соотношению

$$\Delta S = 0 \text{ или } Q_1/T_1 = Q_0/T_0. \quad (5.24)$$

Соотношения (5.23) и (5.24) представляют собой математические выражения первого и второго начал термодинамики, определяющие количественные связи и условия реализации теплового цикла в машине. На рис. 5.6 полученный результат представлен в виде полосовых графиков потоков теплоты и энтропии, построенных применительно к тепловому двигателю.

Соотношение (5.23) утверждает, что нельзя построить периодически действующий двигатель, который совершал бы работу без потребления энергии извне или превышающую подводимую к нему

эквивалентную теплоту (вечный двигатель первого рода невозможен). Соотношения (5.24) запрещают вечный двигатель второго рода или монотермический двигатель, требуя при-

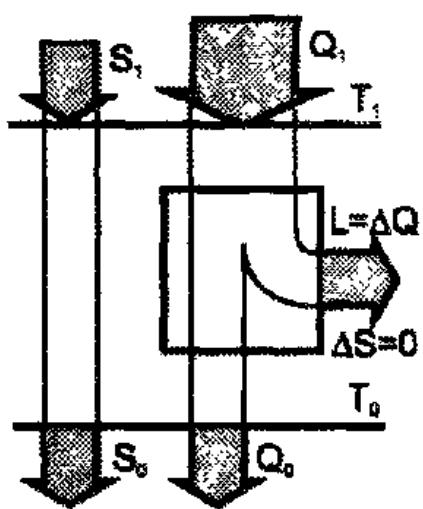


Рис. 5.6. Полосовые графики потоков энергии и энтропии в тепловом двигателе

менения в схеме как минимум двух тепловых элементов: источника теплоты с относительно высокой температурой T_1 (нагреватель) и теплоприёмника с более низкой температурой T_0 (охладитель). Последний обеспечивает практическую реализацию замкнутого процесса: выводит из двигателя энтропию, поступившую с теплотой от нагревателя, восстанавливая тем самым исходные упругие свойства рабочего тела.

5.10. Эффективность преобразования теплоты

Из соотношения (5.17) следует: $dQ = RdT$, т.е. теплообмен возможен исключительно при наличии перепада температур; при наличии перепада скоростей или давлений согласно (5.6) и (5.13) происходит обмен внутренней энергией. Это и определяет, в частности, возможности получения работы в тепловых, ветряных и использующих сжатый газ двигателях (моторах).

На основании баланса энергии (5.23) можно составить общее выражение для термического КПД цикла, характеризующего эффективность превращения теплоты в механическую работу в тепловом двигателе

$$\eta = L/Q_1 = 1 - Q_0/Q_1.$$

Как видим, он тем больше, чем меньше относительная доля потерь теплоты в охладителе, под которым мы будем далее иметь в виду окружающую среду.

Пусть теплота подводится к газу при среднеинтегральной температуре $F_1 = Q_1/\Delta S$ (рис. 5.5), где $\Delta S = S_b - S_a$, а отводится при среднеинтегральной температуре $F_0 = Q_0/\Delta S$. Используя баланс энтропии (5.24), для рассматриваемого случая имеем

$$\eta = 1 - F_0/F_1 \leq 1,0. \quad (5.25)$$

Это выражение довольно сложным путём впервые было получено Клаузиусом для оценки предельной эффективности идеализированного термодинамического цикла в заданном интервале температур

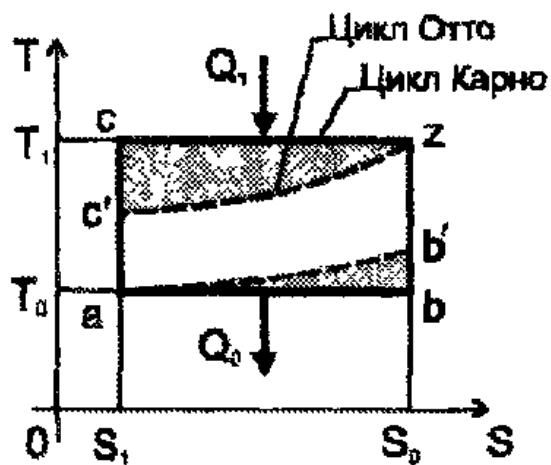


Рис. 5.7. Цикл Карно

$T_0 \dots T_1$ (цикл Карно). Цикл изображён сплошными линиями на рис. 5.7 в координатах T - S и представляет собой комбинацию двух изотерм (квазитерм по нашей терминологии) и двух адиабат, включая следующие процессы: сжатие по адиабате ac , подвод теплоты по изотерме cT , расширение по адиабате zb и отвод теплоты по изотерме ba . Площадь прямоугольной фигуры $aczba$ на рисунке характеризует количественно преобразованную в работу теплоту, которая для идеализированного цикла Карно является максимально достижимой.

Реальные циклы преобразуют теплоту в работу менее эффективно. Об этом можно судить по тому же рис. 5.7: изображённая на нём пунктирной линией фигура $ac'zb'a$ цикла Отто имеет существенно меньшую площадь по сравнению с циклом Карно. Видно также, что повысить эффективность традиционного бензинового двигателя внутреннего сгорания можно за счёт «освоения» затенённых площадей $c'czc'$ и $ab'ba$ на T - S -диаграмме. Первое обеспечивается при повышении степени сжатия воздуха в цилиндре двигателя (участок $c'c$ на диаграмме) и организации регулируемого процесса сгорания (участок cz), второе — при утилизации теплоты отработавших газов. Эти два способа и реализуются сегодня на практике.

5.11. Рассеянная теплота

Первый закон термодинамики (5.12) описывает количественно процесс теплообмена и, строго говоря, представляет собой развёрнутое определение теплоты (5.4) или (5.8). Согласно этому закону теплота, не преобразованная в работу в термодинамическом цикле, идёт на повышение внутренней энергии окружающей среды (внутренняя энергия рабочего тела в цикле сохраняется неизменной). Таким образом, внутренняя энергия окружающей среды есть теплота, которая по

определению не может быть преобразована в работу (рассеянная теплота). Это обстоятельство в конечном счёте обуславливает справедливость второго закона термодинамики, исключающего возможность реализации вечного двигателя второго рода (ВД-2) путём преобразования рассеянной теплоты в работу в термодинамическом цикле. Здесь проявляется прямая связь первого и второго законов термодинамики: игнорирование второго закона термодинамики непосредственно ведёт к нарушению первого.

Критики второго закона термодинамики обычно приводят такой аргумент: «Природа обходится без нефти и газа в решении своих энергетических проблем, — резонно рассуждают они. — Напротив, она созидаёт их и другие ценности за счёт энергии Солнца, рассеянной в окружающей среде. Этот основной закон природы нам пора, наконец, усвоить и прекратить сжигать ценное химическое сырьё («топить ассигнациями» по выражению Д. И. Менделеева). Тем более, что возможность реализации ВД-2 не противоречит закону сохранения и превращения энергии или первому началу термодинамики. Запрет на ВД-2 налагает исключительно для него придуманное второе начало термодинамики, прямо гласящее: ВД-2 невозможен. Но такая «персонификация» решительно не совместима со статусом всеобщего или фундаментального закона природы». При этом упускается из виду простой факт: все живые организмы, включая человека, имеют как приёмник теплоты с пищей, расходуемой на выполнение механической работы, так и сток теплоты с продуктами переработки пищи для вывода из организма энтропии. Аналогичная ситуация наблюдается и в растительном мире: растения не только потребляют солнечную энергию, углекислый газ, воду и питательные вещества, но и выводят энтропию с испарениями влаги и при выделении кислорода.

Из соотношения (5.25) следует, что эффективность преобразования теплоты в работу тем выше, чем больше разнятся между собой температуры нагревателя и охладителя. А эффективность преобразования теплоты во внутреннюю энергию окружающей среды определяется соотношением

$$W/Q_1 = 1 - \eta = Q_0/Q_1 = T_0/T_1 \leq 1,0;$$

т.е. напротив тем выше, чем ближе температура нагревателя к температуре среды-охладителя. Очевидно, что наибольшая эффективность

преобразования теплоты во внутреннюю энергию достигается в условиях равновесной среды при $T_0 \approx T_1$, когда теплообмен возможен исключительно в процессе массообмена. Это и наблюдается в растительном и животном мире.

Из сказанного следует, что процесс преобразования теплоты равновесной окружающей среды в работу принципиально возможен, но должен быть организован в два этапа: на первом этапе рассеянная теплота преобразуется

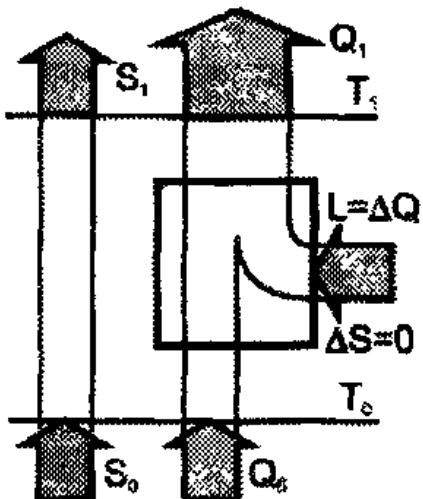


Рис. 5.8. Полосовые графики потоков энергии и энтропии в тепловом насосе

во внутреннюю энергию какого-либо вещества, на втором этапе в результате химических или ядерных превращений это вещество может быть использовано как эффективное топливо для теплового двигателя. Такая схема энергообеспечения — с использованием природных кладовых топлив — и преобладает сегодня повсеместно на практике.

На основании (5.14) и с учётом (5.25) находим величину, обратную термическому КПД и называемую тепловым или отопительным коэффициентом:

$$\xi = 1/\eta = dQ/dL = 1 + dW/dL = T_1/(T_1 - T_0) \geq 1,0. \quad (5.26)$$

Она характеризует эффективность преобразования работы в теплоту и может изменяться в широких пределах: от нескольких единиц в тепловых насосах [35], использующих внутреннюю энергию окружающей среды (вода, грунт или воздух) для обогрева помещений, до бесконечности в процессах самопроизвольного (при $dL = 0$) химического или ядерного превращения вещества. Следовательно, возможность эффективного извлечения теплоты из окружающей среды не является чем-то необычным, а есть прямое следствие закона сохранения и превращения энергии. На рис. 5.8 приведены соответствующие соотношению (5.26) полосовые графики потоков энергии и энтропии в тепловом насосе, демонстрирующие такую возможность.

Однако рассчитывать на решение энергетической проблемы с помощью тех же тепловых насосов [36] или других подобных уст-

ройств нет оснований: они вырабатывают теплоту, требующую затраты работы и поэтому энергетически непригодную для выполнения её. Из последнего соотношения следует, что величина работы, затраченной в этих устройствах на производство теплоты, определяется выражением:

$$dL = \eta dQ.$$

Этим же выражением определяется величина полезной работы в тепловом двигателе. Таким образом, комбинация теплового двигателя с тепловым насосом в качестве источника тепла для реализации вечного двигателя второго рода даже в идеале даёт нулевой баланс работы. Иными словами, *тепловая энергия, добываемая тепловым насосом из окружающей среды, не является работоспособной*.

5.12. Дросселирование газов

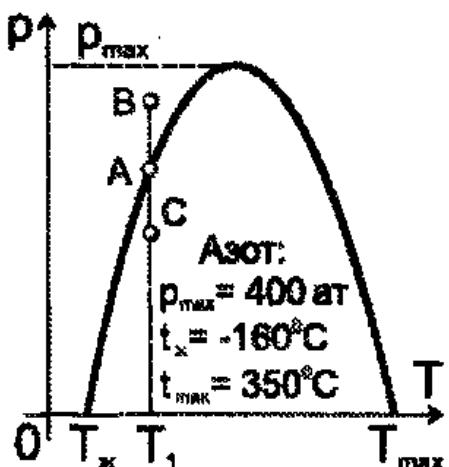
Пусть газ, занимая объём V при давлении p , расширяется в дросселе так, что его внутренняя энергия давления в ёмкости преобразуется в кинетическую энергию свободного потока за дросселем. Интегрирование уравнения (5.12) или (5.14) для этого случая при учёте определений (5.5), (5.9), (5.10) и для работы $L = pV$ по вытеснению газа из занимаемого объёма даёт:

$$p = -(\rho c^2/V)T^2 + (kN/V)T + \text{Const};$$

Рис. 5.9. Оптимальные параметры дросселирования

здесь давление $p = L/V$ характеризует удельную (на единицу объёма) работу по вытеснению газа, первое слагаемое в правой части — удельную внутреннюю энергию молекул, второе — удельную теплоту их силовых полей.

Полученная функция представляет собой отрицательную ветвь параболы, изображённую на рис. 5.9 (характерные значения параметров заимствованы из работы [37]). Кривая начинается в точке, соответствующей нулевому значению параметра p и температуре T_x сжижённого состояния газа. В области низких температур параметр p растёт, что обусловлено преобладающим влиянием второго слагаемого правой части уравнения: газ интенсивно вби-



рает в себя подводимую теплоту. В области высоких температур преобладающим становится первое слагаемое: подводимая к газу теплота в основном идёт на повышение энергии движения молекул. Максимальному значению температуры T_{\max} отвечает такое низкое значение плотности ρ газа, при котором его внутренняя и тепловая энергия становятся равными по величине, а работа по вытеснению газа (без учёта работы трения) — равной нулю. Последнее очевидно означает режим, при котором скорости поступательного движения молекул в замкнутом объёме и в свободном потоке за дросселем равны между собой.

Точки на кривой рис. 5.9 (например, точка А) задают оптимальные параметры ρ и T , при которых осуществляется полное преобразование внутренней энергии газа в замкнутом объёме в кинетическую энергию движения молекул в свободном потоке за дросселем при сохранении неизменной температуры газа. Если при фиксированной температуре T_1 давление газа превышает оптимальное (точка В), то «избыток» внутренней энергии газа преобразуется в теплоту и температура в потоке повышается; если давление в объёме ниже оптимального (точка С), имеем обратную картину: температура в потоке газа понижается вследствие уменьшения внутренней энергии за дросселем. Это явление известно под названием эффекта Джоуля-Томсона.

5.13. Обобщение законов термодинамики

Изложенный выше метод описания тепловых процессов базируется на самых общих представлениях о движении материальной системы частица-поле. Поэтому его выводы могут быть распространены на гравитационные и электромагнитные явления. В результате в уравнениях (5.3), (5.4) и других вместо тепловой энергии Q будет фигурировать энергия деформирования гравитационного или электромагнитного силовых полей, а вместо скорости звука — скорость распространения света в пустоте.

При этом первый закон термодинамики (5.12) преобразуется в обобщённый закон сохранения и превращения энергии

$$d\mathcal{E} = dW + dL, \quad (5.27)$$

по-прежнему утверждающий, что энергия любого вида в общем случае может быть лишь частично преобразована в работу dL , а частично расходуется на повышение внутренней энергии dW системы. В циклических процессах, происходящих при сохранении внутренней энергии ($dW = 0$), в работу преобразуется вся подводимая извне энергия:

$$d\mathcal{E} = dL.$$

Отсюда, в частности, следует, что при движении тела (заряда) во внешнем гравитационном (электрическом) поле по замкнутой траектории, задающей циклический процесс, без подвода энергии извне ($d\mathcal{E} = 0$) результирующая работа также равна нулю ($dL = 0$): *получить энергию из внешних силовых полей любой физической природы в циклическом процессе нельзя*.

Интегрирование уравнения (5.27) для цикла в гравитационном или электромагнитном поле даёт

$$\mathcal{E} = L,$$

где постоянная интегрирования положена равной нулю (отсчёт ведётся от нулевого гравитационного или электрического потенциала Земли). Тогда теоретический КПД преобразования гравитационной или электромагнитной энергии в работу (аналог термического КПД теплового двигателя) оказывается равным единице:

$$\eta = L/\mathcal{E} = 1,0.$$

5.14. Пример 1. Тепловой двигатель

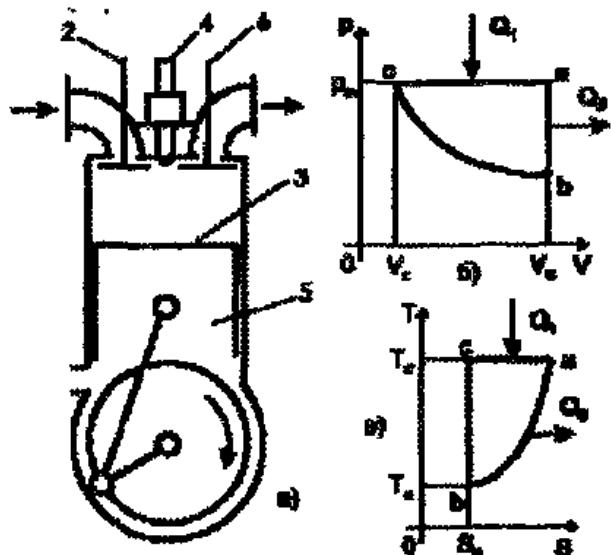
Чтобы глубже усвоить изложенный материал, исследуем с его помощью принципиальную работоспособность двух типов двигателей внутреннего сгорания, выполненных по единой конструктивной схеме (рис. 5.10, а).

В традиционном типе ДВС реализуется уже описанный нами термодинамический цикл по рис. 5.5, состоящий из следующих процессов над рабочим телом (воздухом), периодически поступающим в цилиндр 1 через впускной клапан 2: сжатие при ходе поршня 3 в направлении верхней мёртвой точки, нагрев при сгорании топлива, подаваемого в цилиндр через форсунку 4, расширение газа (рабочий ход) при движении поршня в направлении нижней мёртвой точки и отвод теплоты в окружающую среду с отработанными газами через

выпускной клапан 6. Схема остаётся достаточно перспективной на обозримое будущее, поскольку вполне приспособлена для использования топлива будущего — водорода. Работоспособность её подтверждена более чем вековым опытом и не требует особых комментариев: первый и второй законы термодинамики нашли здесь самое яркое воплощение (рис. 5.6).

Рис. 5.10. Пример вечного двигателя второго рода:

- а) конструктивная схема,
- б) pV -диаграмма теоретического цикла,
- в) TS -диаграмма теоретического цикла



Видоизменим схему работы двигателя, попытавшись в обход второго закона термодинамики использовать для этого один-единственный источник теплоты — окружающую среду. Как отмечалось выше, такой двигатель называется вечным двигателем второго рода. Конструктивная схема и диаграммы теоретического цикла его представлены на том же рис. 5.10.

В рабочий цилиндр 1 двигателя периодически подаётся воздух через впускной клапан 2 при давлении окружающей среды и в момент наибольшего объёма цилиндра, при положении поршня 3 в нижней мёртвой точке через форсунку 4 впрыскивается топливо для организации химической реакции с поглощением теплоты из рабочего тела (эндотермическая реакция). В результате этого в цилиндре понижается давление по изохоре ab относительно картерной полости 5 и поршень смещается в направлении верхней мёртвой точки, уменьшая объём рабочего тела по адиабате bc и производя работу на выходном валу двигателя под давлением атмосферы (по этой причине такие двигатели называют атмосферными). Как только давление в цилиндре и картерном пространстве сравняются, открывается клапан 6 выпуска рабочего тела и в окружающую среду поступает «холод» из цилиндра двигателя (изобара ca). Затем производится наполнение цилиндра свежей порцией воздуха и цикл повторяется. Работа осуществляется, таким образом, почти по традиционной схеме тепловых

двигателей — с затратой химического топлива.

Последнее обстоятельство создаёт иллюзию реальности схемы двигателя. Основная проблема здесь — выбор подходящего топлива и катализатора: они должны обеспечить взрывное протекание эндотермической реакции при температуре и давлении окружающей среды. Желательно также, чтобы при этом обеспечивался безвредный выхлоп, а продукты его могли бы утилизироваться и разлагаться на исходные компоненты, например, под воздействием солнечных лучей с возможностью повторного использования топлива. Тогда мы имели бы фактически вполне легитимный с позиций первого закона термодинамики и удобный (всепогодный) способ преобразования и использования солнечной энергии.

Однако закон (5.20) возрастания энтропии и соотношения (5.21) и (5.22) для её расчёта лишают нас такой возможности. Они показывают, что росту энтропии отвечают исключительно экзотермические реакции ($T_1 > T_0$), при которых в режиме изохорного сгорания топлива выполняется условие $p_1 > p_0$. Иными словами, понизить давление в цилиндре двигателя за счёт использования эндотермической реакции при сжигании подходящего топлива не представляется возможным: такое топливо не может быть создано. Второй закон термодинамики, таким образом, переводит проблему из разряда изобретательских на уровень фундаментальных проблем физической химии.

5.15. Пример 2. Тепловой насос

Непонимание изложенной выше сущности законов термодинамики способно привести иного исследователя к такого рода «открытию» [29]: «Итак, вода, обыкновенная вода ... преподнесла людям ещё один приятный сюрприз: открыла возможность пользоваться фактически даровой энергией, для получения которой не надо сжигать нефть, природный газ, перегораживать реки плотинами, строить исполинские ветряки или ловить из-за туч солнечные лучи с помощью дорогих фотоэлементов. Кусок трубы из обыкновенной стали и обычный насос для подачи воды — вот и всё, что надо для получения энергии новым способом. А в перспективе он может заменить не только котельные, но и теплоэлектростанции, и даже атомные электростанции, если суметь поднять эффективность вихре-

вого теплогенератора (его отопительный коэффициент) до трёх или хотя бы чуть выше двух. На сегодняшний день он у теплоустановок «ЮСМАР» едва превышает единицу».

Речь здесь идёт о довольно несовершенной разновидности теплового насоса (теплогенератора по терминологии авторов), который его разработчики по непонятным причинам представляют как «промышлённый реактор холодного ядерного синтеза, о создании которого столько мечтали физики и энергетики». Устройство (рис. 5.11) содержит контур 1 с отопительным радиатором 2, по которому с помощью насоса 3 и электропривода (не показан) организована принудительная циркуляция воды и закрутка её в вихревой трубе 4, выполняющей функции преобразователя работы L насоса в теплоту Q . Вследствие трения вода в вихревой трубе нагревается, и это тепло передаётся в обогреваемое помещение посредством радиатора 2.

Если на части контура, расположенной вне обогреваемого помещения (окружающая среда), дополнительно разместить радиатор-теплоприёмник 5, то согласно соотношению (5.26) и рис. 5.8 при определённых условиях можно рассчитывать на поступление в контур теплоты dW из окружающей установку

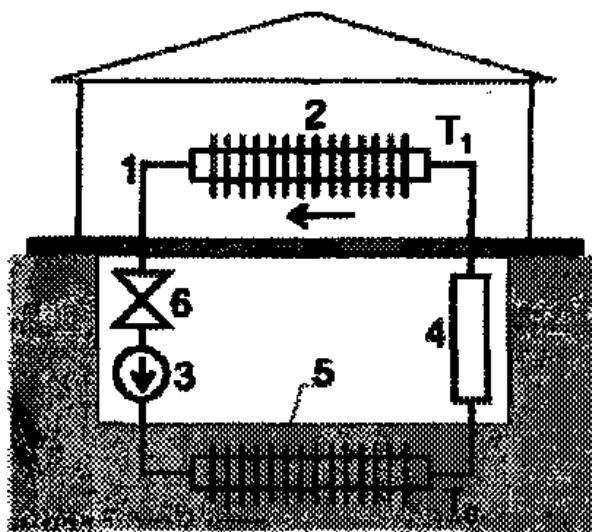


Рис. 5.11. Схема теплового насоса

среды (на рис. 5.11 это грунт) и реализацию в ней теплового коэффициента ξ , существенно превышающего единицу. Напротив, если тщательно изолировать теплоприёмную часть контура от этой среды (в формуле (5.26) параметр dW в этом случае следует положить равным нулю), то получим эквивалентное преобразование работы в теплоту при $\xi = 1,0$.

В работе [29] представлена схема установки без теплоприёмника 5 от окружающей среды, вследствие чего её тепловой коэффициент «едва превышает единицу». Поэтому авторам разработки можно рекомендовать следующие очевидные мероприятия по дальнейшему совершенствованию теплогенератора.

Во-первых, следует включить в схему рис. 5.11 отапливаемого дома теплоприёмный радиатор 5 и тем самым приблизить её к нормальной схеме теплового насоса.

Во-вторых, мощные электромотор и насос можно заменить на маломощные, наделив их единственной функцией: организация принудительной циркуляции рабочей жидкости в контуре без закрутки потока, пожирающей большую часть потребляемой насосом энергии.

В-третьих, заменить вихревую трубу в схеме на компрессор (классическая схема теплового насоса), преобразующий работу в теплоту сжатого газообразного рабочего тела, а ещё лучше — на электрический, газовый или какой-либо другой нагреватель для преобразования рабочего тела в горячий пар, а также снабдить её устройством 6 дросселирования рабочего тела для обратного преобразования пара в жидкость на выходе из отопительного радиатора 2.

Наконец в-четвёртых, в качестве рабочего тела вместо воды использовать какую-либо экологически безопасную низкокипящую жидкость, имеющую температуру конденсации при дросселировании существенно ниже, чем температура T_0 окружающей среды, от которой производится отбор теплоты.

Теперь радиатор 5 будет отбирать теплоту от грунта, превращая подвальное помещение дома в холодильную камеру, эта теплота далее будет суммироваться с теплотой, производимой нагревателем 4, и передаваться в радиатор 2 для отопления жилого помещения.

Выходы к главе 5

- Теория теплоты радикально упрощается и обогащается физическим содержанием, если учсть вращательно-поступательное движение свободной молекулы газа в результате упругого взаимодействия её с собственным силовым (тепловым) полем.
- Уравнение состояния газа, первое и второе начала термодинамики, могут быть строго обоснованы на базе обобщённого уравнения динамики Ньютона-Лоренца.
- Второй закон термодинамики к изолированным системам не применим, поэтому вывод о конечной «тепловой смерти» Вселенной некорректен.

Глава 6. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

На базе обобщённого уравнения динамики Ньютона-Лоренца раскрывается физическое содержание основных квантовых понятий — постоянной Планка и соотношения неопределённости, выявляются причины квантового характера излучения электрона и атома, даётся вывод простых аналогов уравнений Максвелла, определяющих основные законы электромагнетизма и делающих абсолютно прозрачной физическую природу световой волны.

6.1. Состояние вопроса

Центральным в электродинамике является вопрос об удельной электрической проводимости твёрдых тел. Классическая электронная теория проводимости металлов, развитая трудами Друде и Лоренца, предполагает, что электроны металла ведут себя подобно частицам своеобразного «электронного газа». Под действием приложенной к проводнику ЭДС в нём возникает электрическое поле, в результате чего на хаотическое тепловое движение электронов накладывается их упорядоченное движение, составляющее электрический ток. Движение электронов сопровождается столкновениями с узлами кристаллической решётки, обуславливающими сопротивление проводника. При этом выявленную на опыте зависимость удельной проводимости от температуры проводника объяснить не удалось.

Основу классической электродинамики составляет теория Максвелла. На её принципиальную «несостоятельность» указывает Р. Фейнман в своих знаменитых лекциях [6]: «...классическая теория электромагнетизма неудовлетворительна сама по себе. В ней до сих пор есть трудности, которые связаны с самими идеями теории Максвелла». Далее Фейнман выделяет две такие трудности.

- «Все известные нам частицы подчиняются законам квантовой механики, поэтому необходима квантово-механическая форма электродинамики».
- «Понятия простых заряженных частиц и электромагнитного поля как-то не согласуются друг с другом. ...И всё потому, что ...

количество энергии, окружающей точечный заряд, оказывается бесконечным».

А многочисленные попытки изменения теории Максвелла Фейнман оценивает следующим образом: «Так что и до сего дня нам неизвестно решение этой проблемы. Мы не знаем, как с учётом квантовой механики построить самосогласованную теорию, которая не давала бы бесконечной собственной энергии электрона или какого-то другого точечного заряда. И в то же время нет удовлетворительной теории, которая описывала бы неточечный заряд. Так эта проблема и осталась нерешённой».

В рамках рассматриваемой здесь неоклассической концепции физики эта проблема разрешается сама собой благодаря прозрачности явлений электромагнетизма. При этом уравнения Максвелла получают простое и качественное теоретическое обоснование, при которых приведённые выше упрёки Фейнмана в несостоятельности классической электродинамики с повестки дня снимаются.

6.2. Тормозное излучение электрона

Принятая здесь модель движения прямо приводит к определению постоянной Планка как модуля сохраняемого (изначально заданного самой природой) момента импульса свободного электрона

$$\hbar = miur = m_0 icr_0 = \text{Const}, \quad (6.1)$$

где m и r — масса и радиус самовращения электрона при произвольной скорости, m_0 и $r_0 = 0,386 \cdot 10^{-10}$ см (комптоновская длина волны) — те же его параметры при предельной скорости самовращения $iu = ic$. При этом величину (3.1) полной энергии частицы- поля становится возможным задать числом квантов энергии определённой частоты:

$$\beta = n\hbar i\omega, \quad (6.2)$$

где безразмерный параметр $n = 1,2,3,\dots$ определяется соотношением

$$n = mr/m_0 r_0 = c/u. \quad (6.3)$$

При поступательном движении электрона ($u \neq 0$) скорость самовращения его по условиям задачи определяется тем же модулем $iu = u$. При заторможенном электроне ($u = 0$) величина окружной скорости может быть любой, не противоречащей условию (6.1) сохранения момента импульса. Это означает, что окружная скорость iu затормо-

женного электрона может возрасти до предельной, равной скорости света ic , при которой относительная деформация iu/c его силового поля становится максимальной, равной единице. Эти условия, по-видимому, являются необходимыми и достаточными для отрыва силового поля от своего носителя и излучения энергии в системе частица-поле, о чём свидетельствует факт наблюдаемого излучения электрона при торможении. Следовательно движение электрона с излучением принципиально должно носить прерывистый характер в виде чередования режимов поступательного перемещения без излучения и относительного покоя с излучением, что и определяет квантовый характер излучения. Причём тормозное излучение в первую очередь является свойством электрона, для более тяжёлых частиц световая скорость самовращения трудно достижима и характерным является отражённое или вторичное излучение.

На рис. 1.3 процесс тормозного излучения выглядит следующим образом. Торможение электрона под воздействием внешней силы эквивалентно увеличению осевой жёсткости iK его силового поля. В условиях сохранения момента импульса оно приводит к превышению вектора $[iK, iu/c]$ релятивистского радиального деформирования силового поля над вектором $[m(iu)^2/r]r^0$ центробежной силы и вызывает уменьшение радиуса траектории и повышение скорости самовращения электрона. В зависимости от интенсивности внешнего воздействия параметры самовращения электрона либо достигают предельных значений r_0 и ic , либо нет. В первом случае осуществляется акт неупругого взаимодействия: электрон излучает энергию поступательного движения до тех пор, пока не прекратится внешнее воздействие или он не остановится; во втором — упругое взаимодействие, при котором первоначальная величина скорости электрона восстанавливается. По завершении процесса излучения радиус самовращения электрона увеличивается до значения, определяемого соотношением (1.15) и обусловленного новой величиной поступательной скорости и жёсткостью собственного магнитного поля.

6.3. Реакция излучения и соотношение неопределённости

Для частицы, находящейся под воздействием тормозного излучения, вместо (1.14) имеем уравнение замедленного вращательно-

поступательного движения

$$\mathbf{F} + [\mathbf{u}/c, \mathbf{K}] + mdu/dt = 0,$$

где \mathbf{F} — реакция излучения. Для определения модуля какого-либо вектора его необходимо умножить на самого себя и вычислить корень квадратный из полученной величины. Применяя эту операцию к вектору \mathbf{F} , получаем

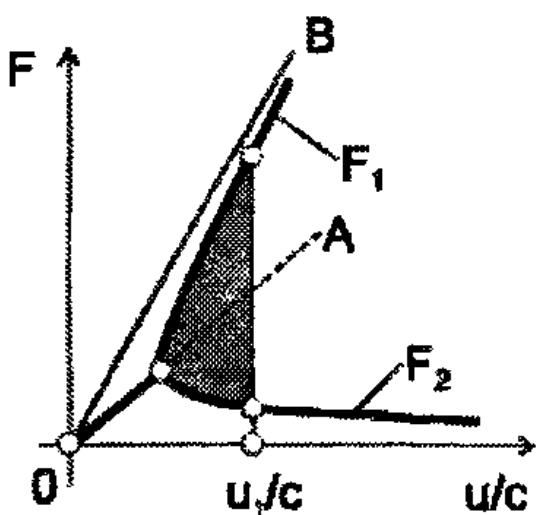
$$\mathbf{F}^2 + [\mathbf{u}/c, \mathbf{K}]\mathbf{F} + md(\mathbf{u}\mathbf{F})/dt = 0, \quad (6.4)$$

где $\mathbf{u}\mathbf{F} = d\mathcal{E}/dt$ — изменение энергии (3.1) силового поля частицы в единицу времени за счёт излучения или мощность излучения.

Упростим задачу, рассматривая стационарный режим движения

частицы за относительно короткий промежуток времени, отвечающий условию

Рис. 6.1. Корни уравнения (5.4) представляют собой комбинацию прямой линии с ветвями гиперболы



$md(\mathbf{u}\mathbf{F})/dt = \text{Const}$, при котором уравнение (6.4) преобразуется в квадратное алгебраическое. Получим два действительных корня уравнения вида

$$F_{1,2} = -ku/c \pm \sqrt{(ku/c)^2 - md^2\mathcal{E}/dt^2} \quad (6.5)$$

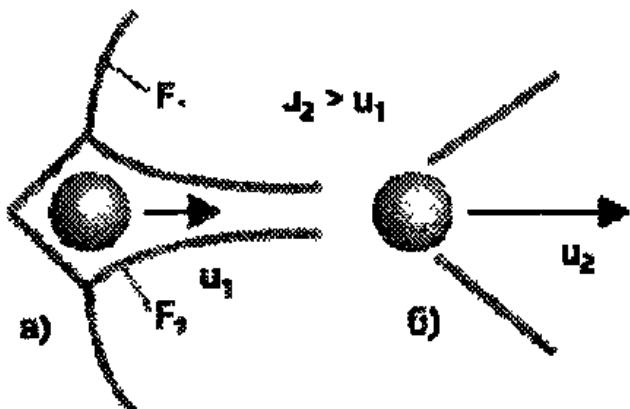
(k — коэффициент пропорциональности), изображённых на рис. 6.1. Функция представляет собой комбинацию прямой OA и гиперболы, вершина которой лежит на этой прямой, а асимптотами служат прямая OB и ось абсцисс.

Функция (6.5) задаёт систему ударных волн излучения, формируемых в окрестности движущегося заряда, которую можно наблюдать в циклических ускорителях. На рис. 6.2, а показан общий случай, когда движение заряда сопровождается гиперболической ударной волной по рис. 6.1; на рис. 6.2, б представлен предельный режим движения, определяемый равенством нулю второго слагаемого в выражении (6.5). В поперечном сечении ударные волны представляют собой концентрические окружности, которые логично отождествить с магнитными силовыми линиями, возникающими вокруг движущегося заряда. Эта картина принципиально согласуется с расчётной моде-

лью в виде носителей электричества и молекулярных магнитных вихрей, которую Максвелл использовал для вывода уравнений электродинамики.

Наличие двух корней (6.5) свидетельствует об обменном или при-

Рис. 6.2. Конфигурация ударных волн излучения изменяется при изменении скорости движения заряда



чинном характере взаимодействия

частицы с внешним силовым полем: излучение энергии всегда сопровождается её поглощением и наоборот, — причём параметры внешнего возмущения и ответной реакции частицы взаимосвязаны. Этим объясняется механизм «свободы воли» электрона — проблемы, на которую впервые обратил внимание Резерфорд в письме к Бору [38]: «как может знать электрон, с какой частотой он должен колебаться, когда переходит из одного стационарного состояния в другое?»

При малых значениях скорости частицы, отвечающих прямолинейному участку функции рис. 6.1, оба корня одинаковы, что отвечает режиму упругого взаимодействия излучения с частицей. При скоростях, определяемых соотношением

$$(k u/c)^2 \geq m d^2 \mathcal{E}/dt^2,$$

баланс нарушается ($F_1 \geq F_2$): в режиме разгона до скорости u_1/c действующая на частицу внешняя сила превышает ответную реакцию, частица поглощает энергию, величина которой определяется площадью затемнённой фигуры на рисунке; при столкновении частицы с какой-либо мишенью в ускорителе имеем обратную картину — частица излучает «затемнённую» энергию в окружающее пространство в виде фотона, пиона или другой элементарной частицы в зависимости от типа и энергии частицы-снаряда. Многообразие получаемых элементарных частиц изучается в рамках Стандартной модели (СМ) виртуальной физики. В нашу задачу его рассмотрение не входит как бессмысленное (см. главу 3), поскольку «стало ясно, что число частиц в мире не ограничено и зависит от энергии, затраченной на

разрушение ядра» (Р. Фейнман).

К излучаемым фотонам как частицам также применимо соотношение (6.2), следует только положить в нём величину $n = c/u$ равной единице, отразив тем самым факт движения фотона со световой скоростью. В результате имеем:

$$\mathcal{E} = \hbar\omega = 2\pi\hbar/\tau.$$

Дважды дифференцируя по τ , при $d\tau \equiv dt$ получаем $d^2\mathcal{E}/dt^2 = 4\pi\hbar/\tau^3$. Подставляя этот результат в последнее неравенство, приходим к так называемому соотношению неопределённости

$$\frac{1}{4}\pi W\tau \geq \hbar \text{ или } \frac{1}{2}W \geq \hbar\omega/\pi^2,$$

где $W = mu^2$ — полная энергия частицы. В нашем случае оно задаёт минимальные величины динамических параметров электрона или другой микрочастицы, при которых режим взаимодействия излучения с ней перестаёт быть упругим и частица может быть обнаружена как физический объект по ответной реакции излучения. Согласно второму выражению кинетическая энергия $\frac{1}{2}W$ такой частицы должна достигать не менее одной десятой доли энергии кванта воздействующего излучения.

6.4. Законы индукции силовых полей

Рассмотрим движение лёгкой ($m \approx 0$) или безмассовой частицы в пустоте под воздействием внешней силы \mathbf{F} , которая на рис. 6.3 представлена двумя составляющими: вдоль радиуса вращения частицы (\mathbf{F}_r) и по касательной к траектории вращения (\mathbf{F}_ω). Третья составляющая (\mathbf{F}_x) ускоряет частицу в направлении движения X и в данном случае нас не интересует. Такая ситуация характерна, например, для движения электрона в сильном электрическом поле разрядной трубы. Вместо уравнения свободного движения (1.14) и его комплексной модификации (1.16) в этом случае имеем:

$$\mathbf{F}_r = -[iu/c, i\mathbf{K}],$$

$$\mathbf{F}_\omega = -[\mathbf{u}/c, \mathbf{K}].$$

Или на основании правил векторной алгебры:

$$i\mathbf{K} = [iu/c, \mathbf{F}_r], \quad (6.6)$$

$$\mathbf{K} = [\mathbf{u}/c, \mathbf{F}_\omega].$$

Подставляя в эти уравнения $\mathbf{u} = [\mathbf{r}, \omega]$ и $i\mathbf{u} = [\mathbf{r}, i\omega]$, в результате подсчёта двойных векторных произведений получаем систему из четырёх уравнений:

$$\mathbf{F}_r = 0,$$

$$\mathbf{F}_\omega = -\omega r K/c = -(u/c)K\omega^0,$$

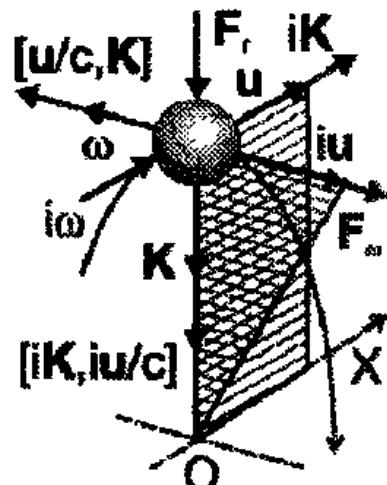
$$i\mathbf{K} = i\omega r F_r/c = (u/c)F_r i\omega^0,$$

$$\mathbf{K} = 0;$$

в этих уравнениях единичные векторы ω^0 и $i\omega^0$ задают направления действия сил \mathbf{F}_ω и $i\mathbf{K}$.

Первое и последнее уравнения полученной системы показывают, что в результате вращения векторов радиальной внешней силы \mathbf{F}_r и ради-

Рис. 6.3. Составляющие силы внешнего воздействия на движущуюся частицу



альной силы упругих деформаций \mathbf{K} происходит их самокомпенсация. Второе и третье уравнения задают величину и направление внешней касательной вращающейся силы \mathbf{F}_ω и ответной осевой реакции $i\mathbf{K}$ силового поля, способных производить работу: первая обеспечивает поток энергии от источника внешней силы к частице, вторая действует на частицу в направлении её поступательного движения.

На рис. 6.3 заштрихованные фигуры изображают распределение скоростей вращения $i\mathbf{u}$ и прямолинейного движения \mathbf{u} частицы вдоль радиуса-вектора \mathbf{r} , которые отвечают соотношениям:

$$d\mathbf{u}/dr = \omega i\mathbf{u}^0,$$

$$d\mathbf{u}/dt = 0.$$

Чтобы найти аналогичные законы распределения в пространстве-времени составляющих векторов внешней силы и силы упругих деформаций, необходимо проанализировать по r полученную выше систему из четырёх уравнений. С учётом определения $\mathbf{u} = dr/dt$ имеем:

$$d\mathbf{F}_r/dr = 0,$$

$$d\mathbf{F}_\omega/dr = -(1/c)(dK/dr)\omega^0,$$

$$d\mathbf{iK}/dr = (1/c)(F_r i\omega + d\mathbf{F}_r/dr),$$

$$d\mathbf{K}/dr = 0.$$

Второе и третье уравнения новой системы устанавливают законы индукции силовых полей: *перемещения внешней силы в пространстве приводят к изменению радиальной упругости силового поля частицы во времени; пространственное распределение осевой упругости силового поля частицы обусловлено величиной и изменением во времени внешней силы.*

6.5. Аналоги уравнений Максвелла

В частном случае движения заряда q в электрическом силовом поле в полученную систему уравнений следует подставить параметры:

$$\mathbf{K} = cq\mathbf{B} \text{ и } \mathbf{F} = q\mathbf{E},$$

где \mathbf{B} — индукция магнитного поля, \mathbf{E} — электрическая напряжённость внешнего силового поля, обусловленная объёмной плотностью сторонних зарядов ρ . При этом векторное произведение $[\mathbf{u}/c, \mathbf{K}]$ преобразуется в выражение $q[\mathbf{u}, \mathbf{B}]$ для силы Лоренца в системе СИ. В результате получаем простой и удобный аналог системы уравнений Максвелла для движущегося заряда:

$$\begin{aligned} d\mathbf{E}_r/dr &= \rho \text{ (по определению),} \\ d\mathbf{E}_\phi/dr &= -(dB/dt)\omega^0, \\ d\mathbf{B}/dr &= (1/c^2)(i\mathbf{j} + d\mathbf{E}_r/dt), \\ dB/dr &= 0; \end{aligned} \tag{6.7}$$

здесь $E_r i\omega = \rho r i\omega = i\mathbf{j}$ — плотность тока проводимости.

Уравнения Максвелла в сжатой форме выражают всю совокупность сведений, необходимых для расчёта электромагнитных полей единичного заряда или токов: в первом случае мы представляем описанную картину буквально, как движение выделенного единичного заряда мимо неподвижных сторонних зарядов в одну сторону, во втором — как движение сторонних зарядов мимо выделенного неподвижного единичного заряда в противоположную сторону.

В частности, опишем вокруг заряда q сферу радиуса r и объёма V . По определению плотность заряда внутри сферы $\rho = q/V = dq/dV = dq/4\pi r^2 dr$, где $4\pi r^2$ — площадь поверхности сферы. Подставляя этот результат в первое уравнение Максвелла и интегрируя, приходим к формулировке закона Кулона для вакуума:

$$\mathbf{E}_r = (q/4\pi\epsilon_0 r^2) \mathbf{r}^0,$$

где ϵ_0 — электрическая постоянная, зависящая от выбора единиц.

На рис. 6.3 и в уравнении (6.6) вектор $i\mathbf{K} = cq\mathbf{B}$ характеризует жёсткость в осевом направлении силового (в данном случае магнитного) поля, формируемого движущимся зарядом. А параметр $[iu, \mathbf{F}_r] = q [iu, \mathbf{E}_r]$ определяет поток энергии электрического поля в единицу времени в том же направлении. Вводя параметр $\mathbf{g} = i\mathbf{K}/q$ для плотности магнитного импульса и параметр $\mathbf{P} = [iu, \mathbf{E}_r]$ для плотности потока энергии электрического поля в единицу времени, имеем:

$$\mathbf{g} = \mathbf{P}/c^2.$$

Вектор \mathbf{P} в этом соотношении называют вектором Пойнтинга.

6.6. Электрическая проводимость твёрдых тел

Пусть рис. 6.3 изображает теперь вращательно-поступательное движение электрона в твёрдой проводящей среде. Уравнение (6.7) путём умножения слагаемых на dr приведём к следующему виду:

$$c^2 d\mathbf{B} = \mathbf{j} dr + u d\mathbf{E}_r;$$

а интегрирование и перестановки слагаемых дают:

$$\mathbf{j} = - (u/r) \mathbf{E}_r + (c^2/r) \mathbf{B}. \quad (6.8)$$

Видно, что электрическая проводимость обусловлена двумя слагаемыми: первое, отрицательное представляет собой поток электронов и количественно определяется поступательной составляющей и их сложного движения; второе, положительное (известное под названием тока смещения) обусловлено вихревыми токами вращения электронов, представляет собой поток магнитных вихрей и распространяется в среде со скоростью света. По этой и другим причинам (см. следующий раздел) мы будем отождествлять положительное электричество с потоком фотонов.

Уравнение (6.8) прямо приводит к закону Ома в дифференциальной форме:

$$\mathbf{j} = - \gamma \mathbf{E}_r, \quad (6.9)$$

где знак минус отражает факт движения электронов в сторону, противоположную направлению вектора напряжённости внешнего электрического поля. В нём удельная проводимость γ определяется выражением

$$\gamma = \gamma_0 (1 - c^2 B/u E_r), \quad (6.10)$$

а параметр

$$\gamma_0 = u/r \quad (6.11)$$

задаёт чистую электронную проводимость, обусловленную очевидным неравенством $c^2 B / uE, \ll 1$ при относительно слабых собственных магнитных полях вращающихся свободных электронов.

Умножим обе части соотношения (6.9) на вектор \mathbf{j} скалярно. Определяя произведение $\mathbf{J}\mathbf{E}$, как плотность потока энергии в единицу времени, находим количество энергии, теряемой в виде тепла в проводнике заданной длины и единичной площади сечения в единицу времени

$$\Delta Q = j^2 / \gamma.$$

А вводя определение для удельного сопротивления $\rho = 1/\gamma$ и умножая обе части полученного соотношения на площадь сечения проводника и время t прохождения тока через проводник, приходим к закону Джоуля-Ленца

$$Q = I^2 R t,$$

где I — сила тока в проводнике, R — его сопротивление.

Видим, что в идеале электронная проводимость (6.11) твёрдого тела тем больше, чем выше линейная скорость u и меньше радиус r самовращения электронов. А снижение проводимости металлов при нагревании и сопутствующем приросте энергии \mathcal{E} электронов согласно (6.10) связано с увеличением индукции B собственного магнитного поля электронов через очевидное соотношение

$$B = (m/q)\omega = (m\hbar/q)\mathcal{E}. \quad (6.12)$$

Напротив: глубокое охлаждение проводника способно вызвать эффект сверхпроводимости, обусловленной уменьшением магнитной индукции и радиуса самовращения электронов проводимости до нулевых значений. В пользу этого говорит, в частности, и эффект Мейснера, при котором наблюдается буквальное выталкивание внешнего магнитного поля из проводника в сверхпроводящем состоянии. При этом течение зарядов в сверхпроводящей среде становится слоистым, без завихрений, ибо лишается основного или вязкого трения, изученного нами в главе 2.

Аналогичным образом на основании (6.8) записывается закон Ома для положительного электричества, характерного для полупроводников

$$\mathbf{J}_p = \gamma_p \mathbf{B}.$$

В рамках современной или виртуальной физики такое электричество ассоциируется либо с движением положительных ионов кристаллической решётки (неподвижных по определению твёрдого тела), либо с движением и вовсе нематериальных объектов — «дырок». В нашем

случае это — вихревые токи, порождающие фотоны проводимости.

Для удельной фотонной или «дырочной» проводимости имеем:

$$\gamma_p = \gamma_{0p} [1 - (u/c^2)(E_r/B)], \quad (6.13)$$

где

$$\gamma_{0p} = c^2/r$$

— идеальная проводимость фотонов. Она тем больше, чем большее скорость распространения света в проводящей среде и меньше радиус самовращения электронов проводимости. При повышении температуры полупроводника и энергии носителей электричества индукция B собственного магнитного поля согласно (6.10) увеличивается, что приводит к соответствующему увеличению проводимости (6.13).

Столь же прозрачными оказываются и многие другие свойства электричества. В частности, проводимость (6.10) переменных токов металлами с повышением их частоты ω снижается из-за очевидного роста индукции (6.12) собственного магнитного поля электронов; это явление известно в физике под названием скин-эффекта. А проводимость (6.13) тех же токов полупроводниками увеличивается. Последнее обстоятельство объясняет и способность полупроводников в контакте с металлами выпрямлять переменные токи достаточно высоких радиочастот. Она обусловлена существенным различием проводимости в контактирующей паре электронного и фотонного токов, имеющих противоположную направленность: электронная проводимость высокочастотного тока резко снижается, а фотонная, напротив, резко возрастает. В результате через пару проходит только положительное электричество, носителями которого являются фотоны, а электронная составляющая эффективно подавляется.

6.7. Волны и модель фотона

Уравнение (1.14) спирального или винтового движения свободной частицы путём переноса одного из слагаемых в правую часть, возвведения обеих частей в квадрат и последующего извлечения квадратного корня представим так:

$$d^2r/dt^2 = Ku/mc.$$

Используя простые преобразования $dr/dt = (dr/dx)(dx/dt) = (dr/dx)u$ и $d^2r/dt^2 = (d^2r/dx^2)u^2 + (dr/dx)(d^2x/dt^2) = (d^2r/dx^2)u^2$, где $dx/dt = u = \text{Const}$ и $d^2x/dt^2 = 0$ — поступательные скорость и ускоре-

ние частицы, получаем:

$$(d^2r/dx^2)u^2 = Ku/mc.$$

Решая два последних соотношения совместно, приходим к уравнению, задающему изменение параметров траектории частицы в пространстве и времени:

$$(d^2r/dx^2)u^2 = d^2r/dt^2. \quad (6.14)$$

Оно называется волновым уравнением и утверждает одно из основных положений КМ, эквивалентных обобщённому принципу инерции: движение материальной частицы по инерции в отсутствие внешних сил и полей сопровождается волновым процессом (в частном случае вращением). Это свойство получило наименование дуализма волна-частица.

Особо интересный вид волнового уравнения обнаруживается при подстановке в (6.7) величины $\mathbf{j} = 0$ (отсутствие носителей электричества). Имеем:

$$d\mathbf{B}/dr = (1/c^2)d\mathbf{E}_r/dt;$$

или при учёте показанной в разделе 4.2 эквивалентности операций нахождения производной вектора по времени и умножения его на мнимую единицу:

$$(d^2\mathbf{B}/drdt)c^2 = d^2\mathbf{E}_r/dt^2.$$

Уравнение показывает, что движение электрических зарядов с ускорением в излучателе (антенне) должно приводить к изменению магнитного поля в пространстве и во времени, т.е. к возникновению магнитной волны, распространяющейся со скоростью света. Здесь налицо принципиальное отличие от классической электродинамики Максвелла: последняя имеет дело с электромагнитными волнами, в то время как наша — с магнитными. Это обстоятельство и объясняет отсутствие симметрии уравнений Максвелла относительно электрического и магнитного полей (первое и последнее уравнения в системе уравнений Максвелла).

Чтобы представить характер магнитной волны, исходное уравнение (1.14) преобразуем к виду, пригодному для описания движения безмассовой частицы (фотона), обладающей импульсом:

$$[\mathbf{K}, d\mathbf{r}] = cd\mathbf{p},$$

где введены векторы $d\mathbf{r} = u dt$ и $d\mathbf{p} = mdu$ для приращения радиуса и импульса волны соответственно. Элементы уравнения представлены на рис. 6.4, изображающем участок волны между сечениями А и Б (силовыми линиями магнитного поля), смещёнными на величину

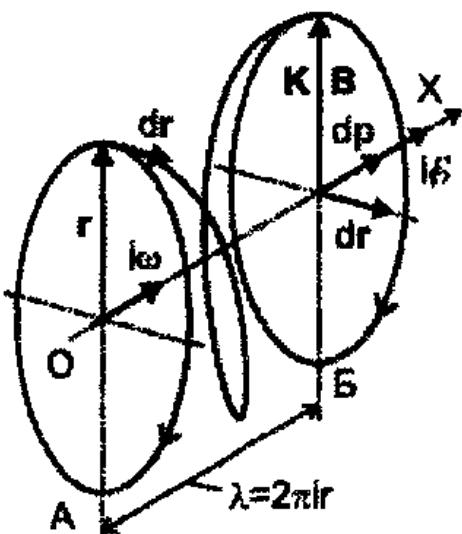
длины волны.

Видим, что векторы уравнения образуют правовинтовую тройку и задают линейное движение вращающегося и изменяющегося по величине вектора $\mathbf{K} \sim \mathbf{B}$ жёсткости магнитной волны, несущего с собой со световой скоростью энергию кванта силового поля

$$i\delta = c\mathbf{p} = \hbar i\omega,$$

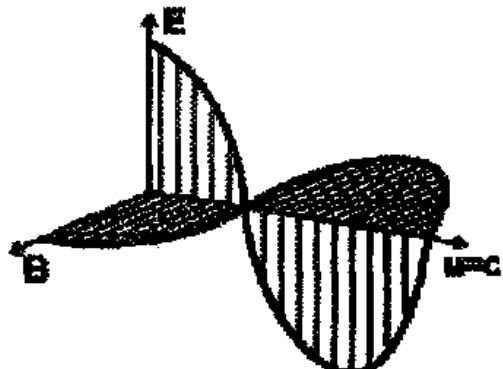
где учтено, что $\hbar = pr$ и $c = \omega_0 r_0$.

Рис. 6.4. Магнитная волна излучения



Сказанное прямо приводит нас к простейшей модели фотона: он представляет собой магнитный «вихрь», оторвавшийся от заряда-носителя. Такая модель вполне удовлетворительно объясняет всё многообразие известных свойств света: от причин отсутствия у фотона электрического заряда до возможности плоской поляризации световых лучей.

Рис. 6.5. Электромагнитная волна Максвелла



Заметим, что согласно классической теории в электромагнитной волне векторы электрического \mathbf{E} и магнитного \mathbf{B} полей всегда колеблются в одинаковых фазах (см. рис. 6.5, где показана мгновенная «фотография» такой волны). И наличие узлов с нулевым значением обоих векторов не согласуется с законом сохранения и превращения энергии: в этих узлах энергия волны, определяемая произведением векторов \mathbf{E} и \mathbf{B} , на мгновение куда-то исчезает и вновь откуда-то появляется.

6.8. Фотонный газ и формула Планка

В замкнутой полости, стенки которой поддерживаются при определённой температуре, устанавливается равновесное тепловое излу-

чение, называемое излучением абсолютно чёрного тела. Оно представляет собой совокупность фотонов, уподобляемых свободным частицам, обладающим энергией и импульсом, и по этой причине называется фотонным газом. Для количественной оценки параметров фотонного газа воспользуемся той же моделью движения частицы по рис. 1.3 и уравнениями (1.14) и (1.16), принимая во внимание, что фотон является безмассовой частицей и движется со скоростью $m = u = c$.

Равновесное тепловое излучение по определению характеризуется постоянством числа фотонов N в замкнутом объёме, внутренней энергии W фотонного газа в целом и каждого фотона W_j в отдельности и содержащейся в них теплоты Q и Q_j . Тогда для рассматриваемого случая ($F_r = F_\omega = 0, H_i = 0, dH_i = 0$) имеем:

$$dQ_j + dW_j = 0; Q_j = W_j.$$

Комбинируя эти равенства, получаем

$$dQ_j/Q_j + dW_j/W_j = 0.$$

На основании (5.10) выражим заключённую в фотоне теплоту через температуру с помощью соотношения $Q_j = kT$, а на основании (6.2) элементарное приращение излучения представим в форме $dQ_j = n\hbar d\omega$, где n — длина фотона, определяемая числом квантов энергии в нём. После подстановки этих величин в последнее уравнение и интегрирования приходим к экспоненциальной функции:

$$W_j = W_{j0} \exp(-n\hbar\omega/kT).$$

Здесь $W_{j0} = \hbar\omega$ — постоянная интегрирования, определяющая внутреннюю энергию кванта излучения при нулевом значении температуры газа. При этом учтено, что согласно определению (3.1) внутренняя энергия фотона равна pc или $\hbar\omega$ при любом значении температуры газа.

Для вычисления среднего значения экспоненциальной функции необходимо подсчитать сумму ряда:

$$\exp(-n\hbar\omega/kT) = \exp(-\hbar\omega/kT) + \exp(-2\hbar\omega/kT) + \dots + \exp(-n\hbar\omega/kT) + \dots$$

Если ввести обозначение $x = \exp(-\hbar\omega/kT)$, то можно видеть, что указанная сумма отличается от простой геометрической прогрессии

$$1/(1-x) = 1 + x + x^2 + \dots + x^n + \dots$$

отсутствием первого члена ряда. Имея это в виду, легко показать, что

$\exp(-n\hbar\omega/kT) = 1/[\exp(\hbar\omega/kT) - 1]$. В результате приходим к следующей зависимости внутренней энергии фотона от частоты и температуры излучения: $W = \hbar\omega/[\exp(\hbar\omega/kT) - 1]$.

На основании (3.10) физическая длина фотона должна быть принята равной нулю. Иными словами, «наблюдать» его можно только с торцов квантового пакета,

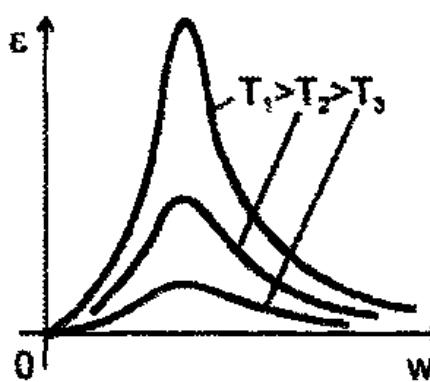


Рис. 6.6. Распределение энергии в спектре излучения абсолютно чёрного тела при различных температурах

суммарная площадь которых $2\pi r^2 = 2\pi\omega^2/c^2$. Разделив левую и правую части последнего соотношения на эту площадь, получим известное выражение (формула Планка) для спектральной плотности излучения (лучеиспускательной способности) абсолютно чёрного тела:

$$\varepsilon = \frac{\hbar\omega^3/2\pi c^2}{\exp(\hbar\omega/kT) - 1}.$$

Характер полученной функции для трёх значений температуры фотонного газа представлен на рис. 6.6.

6.9. Фундаментальный характер классической электродинамики

Вернёмся в раздел 6.1 к двум конкретным упрёкам Р. Фейнмана в адрес электродинамики Максвелла и рассмотрим их с позиций неоклассической концепции физики. Система уравнений Максвелла, как мы убедились, устанавливает соотношения между силами и вследствие этого не может содержать в себе постоянной Планка. Последняя является мерой энергии силовых полей, что и проявилось в двух последних соотношениях предыдущего раздела. По указанной причине утверждение Фейнмана о не квантовом характере классической электродинамики мы полагаем несостоятельным: она оставалась в этом плане просто не завершённой.

Проблема бесконечности энергии точечного заряда в электродинамике имеет ту же природу, что и проблема сингулярности в теории гравитации: она обусловлена статическим характером законов обрат-

ных квадратов для сил и расстояний в формулах Ньютона и Кулона соответственно. В разделе 4.6 мы привели и противопоставили им функцию (4.17) и графики рис. 4.9, показав тем самым, что в условиях динамики при подсчёте гравитационной энергии точечного объекта или энергии связи его с центральным телом следует учитывать существование запретной зоны, ограниченной гравитационным радиусом: при пересечении этой зоны материальная частица разгоняется до световой скорости и превращается в излучение.

Аналогичную картину ограниченного изменения потенциальной энергии точечного заряда (протона) при сближении с ним пробного заряда в виде электрона мы нарисуем в следующей главе применительно к планетарной атомной модели. Вывод из этого таков: практикуемый в квантовой электродинамике метод «обрезания» интегрирования при подсчёте энергии точечного заряда, прозванный Фейнманом «заметанием мусора под ковёр», оказывается вполне законным и единственным возможным.

Выводы к главе 6

- Электродинамика Максвелла в рамках неоклассической концепции физики предстаёт как внутренне самосогласованная теория, отвечающая требованию фундаментального характера.
- Электрическая проводимость твёрдых тел обусловлена потоком электронов, формирующих отрицательное электричество, и потоков фотонов, формирующих положительное электричество.
- Традиционная модель электромагнитной волны Максвелла не согласована с законом сохранения энергии и должна быть заменена вихревой магнитной структурой, лишённой электрической составляющей.
- Вблизи ядра закон Кулона не правомерен и практикуемый в квантовой электродинамике метод «обрезания интегрирования» при подсчёте энергии точечного заряда является вполне легитимным.

Глава 7. ФИЗИКА АТОМА

На базе обобщённого уравнения Ньютона-Лоренца строится сугубо физическая квантовая теория атома. Разрешается один из сложнейших концептуальных вопросов КМ: какой элемент физической реальности представляет волновая Ψ -функция и существует ли он вообще?

7.1. Состояние вопроса и постановка задачи

Отход от классических традиций и представлений в физике микромира вынудил Р. Фейнмана сделать нелёгкое признание, что «квантовой механики никто не понимает» [10]. И основной причиной такого непонимания является известное утверждение соотношения неопределённости, согласно которому для микрообъектов не существует траекторий. Раз это так, то исчезает привычное для нас непрерывное пространство-время — арена всех физических событий, и движение микрочастицы становится принципиально не моделируемым. Другой проблемой КМ, тесно связанной с первой, является статистическая интерпретация квантовых явлений, за которой некоторые физики усматривают неполноту или незавершённость теории вследствие существования скрытых параметров движения микрочастицы.

Напомним, что решающую роль в создании КМ сыграла гипотеза де Броиля: она позволила связать движение электрона в атоме с некоторым волновым процессом и подсчитать для него длину волны λ . Следующий шаг сделал Шредингер, предложив уравнение для амплитуды Ψ такой волны. Причём функция Ψ является комплексной величиной, в силу чего её физический смысл оставался неясным. Затем Борн, анализируя результаты рассеяния электронов и α -частиц на ядре, обнаружил прямую связь между модулем квадрата амплитуды волны и вероятностью обнаружения микрочастиц в заданной точке пространства. Так волны материи де Броиля, проявляющие себя как материальные объекты в интерференционных картинах (опыты Девиссона и Джермера), получили чисто математическую или вероятностную интерпретацию, лишённую какого-либо ясного физиче-

ского содержания.

Это обстоятельство всегда служило поводом для сомнений в основах и завершённости квантовой механики, причём среди сомневающихся были Планк, де Бройль, Шредингер, Эйнштейн, Лауз и другие выдающиеся физики. Эйнштейн прямо указывал на преходящее значение статистической базы КМ: «Я... ещё верю в возможность построить такую модель реальности, т.е. такую теорию, которая выражает сами вещи, а не только вероятности их поведения» [25]. Это было сказано в 1933 г., но и в конце жизни позиция А. Эйнштейна по отношению к квантовой теории не изменилась, он по-прежнему признавал вероятностную интерпретацию реальности в квантовой теории совершенно неудовлетворительной. Правда, причину своей неудовлетворённости Эйнштейн видел не в отходе от классических традиций и представлений, а, напротив, в недостаточно радикальном (по примеру ТО) пересмотре таковых [39]. Его споры с Бором по проблеме полноты квантовой механики и её связи с физической реальностью вылились в многолетнюю дискуссию, результаты которой остаются актуальными по сию пору; в частности, такой: почему в экспериментах по проверке парадокса Эйнштейна-Подольского-Розена (ЭПР) величина квантовых корреляций существенно, в 1,4 раза [7], превышает предсказанную неравенством Белла для классических физических объектов и какова природа таких сильных корреляций?

Мы исходим здесь из того, что познание в квантовой физике никак не обходится без понятий классического физического знания. В этой связи сам Н. Бор писал, что «решающим является признание следующего основного положения: как бы далеко ни выходили явления за рамки классического физического объяснения, все опытные данные должны описываться при помощи классических понятий» [38]. Тогда противоречия в КМ оказываются неизбежными и разрешение их может быть достигнуто исключительно в рамках неклассических физических представлений. Такая программа может быть легко реализована, если принять во внимание (в качестве скрытого параметра) взаимодействие материальной частицы с собственным силовым (физическими) полем. Это приводит к необходимости оценки корреляций не классических физических объектов — частиц, а неоклассических объектов частица-поле, которые по определению

являются квантовыми объектами.

7.2. Планетарная модель атома

К расчёту модели простейшего атома (водород) приходим, повторяя ранее приведённые рассуждения о захвате частицы центральным телом и заменяя в них гравитационные силы электрическими. В приближённом соотношении (3.5) согласно рис. 1.3 внутренняя энергия $m_0 c^2 = \hbar \omega_0 = \text{Const}$ характеризует предельную

энергию самовращения электрона вокруг оси OX, а кинетическая $\frac{1}{2} m_0 u^2 = \text{Var}$ — энергию поступательного движения центра

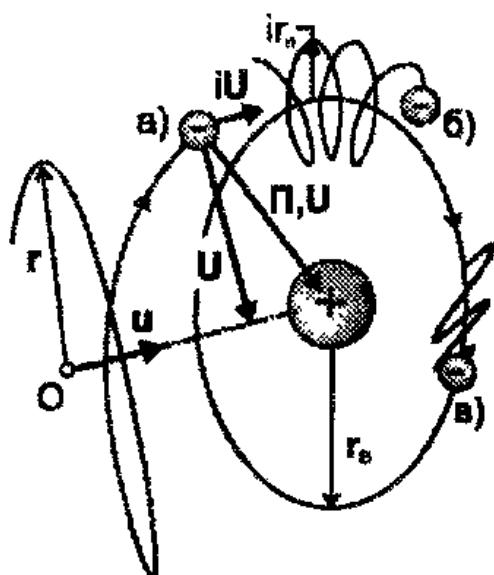


Рис. 7.1. При захвате свободного электрона (а) ядром атома энергия самовращения преобразуется в энергию «годового» вращения электрона, а кинетическая энергия поступательного движения в энергию «суточного» или спинового эллиптического вращения (б) или плоского колебания (в)

самовращения вдоль этой оси. При захвате электрона ядром атома предельная энергия самовращения сохраняется количественно и качественно, а кинетическая энергия поступательного движения преобразуется в энергию связи. При этом, как и в случае гравитационного захвата частицы, центр О самовращения свободного электрона (рис. 7.1, а) по завершении процесса захвата начинает вращаться вокруг ядра, либо совершать линейные колебания вблизи него. Результатом сложения указанных двух видов движения, осуществляемых во взаимно перпендикулярных плоскостях, оказывается совмещение центра самовращения электрона с центром атомного ядра и вращение электрона вокруг ядра по круговой или эллиптической спирали (рис. 7.1, б) с собственным моментом импульса $l \neq 0$, частным случаем которого является плоская волна де Броиля по рис. 7.1, в при $l = 0$.

Из сказанного следует, что движение электрона в атоме количественно должно быть охарактеризовано, по меньшей мере, двумя параметрами, подлежащими дальнейшему определению: радиусом предельного «годового» самовращения, характеризующим внутреннюю энергию электрона

(постоянная и относительно большая величина); и радиусом спирального «сугодного» или спинового вращения, характеризующим энергию связи электрона в атоме (переменная и относительно малая при $u \ll c$ величина). Для этого воспользуемся полученными ранее уравнениями (4.6) – (4.9) баланса энергии при движении связанной частицы, которые мы здесь представим ещё раз, слегка изменив написание последнего:

$$U = mu^2, \quad (7.1)$$

где $U = (u/c)\beta$ (7.2)

— радиальная составляющая энергии потенциального взаимодействия; $iU = -\frac{1}{2}imu^2 = -\frac{1}{2}\hbar\omega$, (7.3)

где $iU = -(u/c)i\beta$ (7.4)

— осевая составляющая энергии потенциального взаимодействия или энергия связи электрона в атоме, $\frac{1}{2}\hbar$ — спин электрона.

На основании (3.7) и (3.9) после несложных преобразований соотношение (7.4) приводится к следующему виду:

$$iU = -cmu(r/r) = -c\hbar/r.$$

Используя далее аналогию с гравитацией, полагаем, что константа $c\hbar$ определяется произведением зарядов ядра Ze (Z — порядковый номер элемента) и электрона e в атоме, а равенство модулей энергии (7.2) и (7.4) указывает на существование вращающегося комплексного вектора U . В результате приходим к известным соотношениям

$$\mathbf{U} = -(Ze^2/r)\mathbf{r}^0, \quad \mathbf{\Pi} = d\mathbf{U}/dr = -(Ze^2/r^2)\mathbf{r}^0,$$

определяющим закон Кулона для взаимодействующих зарядов в атоме.

С учётом полученного результата при делении левой и правой частей соотношения (7.3) на mc^2 и замене u/c на $1/n$ согласно (6.3) получаем выражение для «разрешённых» переменных спиральных орбит электрона в атоме:

$$ir_n = 2Zr_en^2, \quad (7.5)$$

где $r_e = e^2/mc^2 \cong 0,2818 \cdot 10^{-12}$ см — классический радиус электрона.

А в результате деления составляющих соотношения (7.1) на mc^2 и при замене u/c на $m_0 r_0 / mr$ согласно тому же соотношению (6.3) получаем формулу для радиуса постоянной орбиты самовращения связанного электрона: $r_B = \hbar^2/Ze^2m$;

для атома водорода ($Z = 1$) это составляет величину $r_B = 0,53 \cdot 10^{-8}$

см, равную радиусу первой боровской орбиты в КМ. Сравнение величин $i r_n$ и r_B даёт: $i r_n / r_B = 2 Z^2 \alpha^2 n^2$, где $\alpha = e^2 / \hbar c \cong 1/137$ — постоянная тонкой структуры.

Таким образом, приходим к модели атома водорода, несколько отличной от модели Бора. В ней единственный электрон осуществляется «годовое» вращение вокруг ядра по замкнутой эллиптической (положение b на рис. 7.1) или плоской (положение a) спирали радиуса $r \geq r_B$. Основному состоянию атома соответствует плоская ($l = 0$) спираль с амплитудой колебаний $i r_n = 2 r_e$, отвечающей значению $n = 1$ в соотношении (7.5). Возбуждённым состояниям атома отвечает плоская или эллиптическая ($l \neq 0$) спираль с амплитудой колебаний $i r_n = 2 r_e n^2$ при $n = 2, 3, 4, \dots$. Возврат электрона из возбуждённого состояния в основное сопровождается световым излучением, а переход с эллиптической спирали на плоскую при заданном значении n , по-видимому, ответственен за коротковолновое (рентгеновское) излучение. Такая модель в состоянии объяснить как причину лэмбовского сдвига энергетических уровней атома водорода, так и обнаруженное в опытах Штерна-Герлаха расхождение величин гиromагнитных отношений, связывающих магнитные и механические моменты для орбитального и спинового вращения электрона: последнее обусловлено двукратным превышением величины (7.1) энергии (и момента импульса) орбитального вращения электрона над энергией (7.3) спинового вращения.

7.3. Энергия связи электрона с ядром

Для связанного электрона справедливо уже знакомое нам уравнение баланса энергии: $p_c - iW = i\beta_0 + iU$.

При возведении левой и правой частей его в квадрат приходим к квадратному уравнению баланса энергии для связанного электрона

$$\beta^2 - \beta^2 u^2/c^2 = (i\beta_0)^2 + 2i\beta_0 iU \cos\gamma + (iU)^2, \quad (7.6)$$

где γ — близкий к $1/2\pi$ угол между вектором $i\beta_0$, касательным к траектории вращения электрона, и вектором iU , совпадающим по направлению с вектором поступательной скорости u .

Используя подстановку $\cos\gamma = i \sin\gamma$ и связь $i = -1/i$, представим его в следующем виде:

$$\mathcal{E}^2 - \mathcal{E}^2 u^2/c^2 = -\mathcal{E}_0^2 + 2\mathcal{E}_0 U/i + (iU)^2$$

и решим относительно iU как неполное квадратное. При этом введём величину $u^2/c^2 = 2Ze^2/irmc^2$, получаемую делением левой и правой частей соотношения (7.3) на mc^2 , и сохраняемый момент импульса $l = miur$. При $m = m_0$ (дорелятивистские скорости сближения электрона с ядром) приходим к следующему симметричному решению для зависимости энергии связи iU электрона в атоме от смещения ir плоскости орбиты по отношению к атомному ядру:

$$iU/mc^2 = \pm \sqrt{1 - r_z/ir + (l/mcir)^2 - (l/mcir)^2(2Ze^2/irmc^2)}.$$

Это уравнение легко преобразуется к виду, задающему функцию связи электрона в атоме, аналогичную функции (4.17):

$$iU/mc^2 = \pm \sqrt{(1 - r_z/ir)[1 + (l/mcir)^2]}.$$

Здесь введён условный радиус ядерной оболочки r_z (аналог гравитационного радиуса), внутри которой (при $ir \leq r_z$) функция не имеет решения; он определяется выражением

$$r_z = 2Ze^2/mc^2 = 2Zr_e,$$

совпадающим с соотношением (7.5) при $n = 1$ и тем самым задающим основное энергетическое состояние атома.

На рис. 7.2 полученная функция связи построена для атома водорода и трёх значений момента импульса электрона: $l = 0, \hbar$ и $2\hbar$. В положении 1 показан свободный самовращающийся по спирали

электрон, который под действием кулоновской силы сближается с ядром (протон) атома. В положении 2 показан тот же электрон, «приведённый» к статическим условиям: для этого радиус спиральной траектории электрона мы условно положили равным нулю.

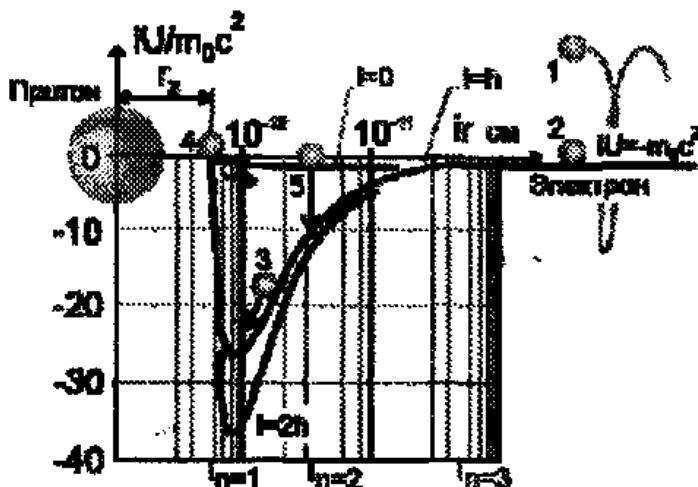


Рис. 7.2. Энергия связи
электрона с ядром

жении 2 показан тот же электрон, «приведённый» к статическим условиям: для этого радиус спиральной траектории электрона мы условно положили равным нулю.

Энергетическое состояние электрона в положении 2 согласно (4.6)

определяется суммой относительно большой по величине и отрицательной по знаку внутренней энергии $-m_0 c^2 = -\hbar\omega_0$ и относительно малой и положительной кинетической энергии $\frac{1}{2} m_0 u^2 = \frac{1}{2} \hbar\omega_0 / n^2$. При $l = \hbar$ свободный электрон разгоняется в направлении ядра как в поступательном движении, так и во вращении, а его потенциальная и кинетическая энергия увеличиваются. На начальном участке сближения электрона с ядром (положение 3 электрона) решающее влияние оказывает рост потенциальной энергии, на конечном — кинетической, результатом является наличие минимума в функции связи. Положение 4 отвечает стационарной орбите электрона при $l = 0$ (плоская орбита e электрона на рис. 7.1), занимая которую электрон приобретает световую скорость вращения и частично освобождается от своего силового поля (излучает). Положительная кинетическая энергия и отрицательная энергия связи в этом случае уравновешены; дальнейшему сближению электрона с ядром препятствует необходимость преодоления им светового барьера, а удалению от ядра — увеличение отрицательной энергии связи (притяжения к ядру).

При возбуждении атома посредством внешнего энергетического воздействия на электрон последний удаляется от ядра за границу энергетического уровня с $n = 2$ (положение 5 электрона) или более «высокого» и приобретает некоторый момент импульса. Это вынуждает его «занять» одну из возможных кривых функции связи (в нашем случае это всё те же функция с $l = \hbar$ и положение 3 электрона) и вернуться по ней в положение 4 основного состояния атома, испустив фотон. При «выбивании» электрона за границу боровской орбиты (этому соответствует $n > 100$) электрон становится свободным, а атом — ионизированным.

7.4. Излучение атома

Используя для правой части уравнения (7.6) формулу разложения функции в степенной ряд и ограничиваясь первым членом ряда, после простых преобразований получаем одно-единственное или несимметричное решение для расчёта энергетического спектра излуче-

$$\beta \cong \frac{i\beta_0 + iU \cos \gamma - U^2 / 2E_0}{\sqrt{1 - u^2 / c^2}}. \quad (7.7)$$

ния атома:

Для дорелятивистских скоростей («высокие» орбиты электрона) угол

γ близок к $1/2\pi$ и $u^2/c^2 \ll 1$. Тогда энергия излучения атома при переходе электрона с энергетического уровня ϵ_2 на уровень ϵ_1 (основная структура спектра) определится известным из КМ приближённым соотношением

$$\Delta\epsilon = \epsilon_2 - \epsilon_1 \approx (\frac{1}{2} m Z^2 e^4 / \hbar^2) [(1/n_2)^2 - (1/n_1)^2];$$

здесь $n = c/u = 1, 2, 3, \dots$ — условие реализации стационарного режима движения электрона (режима стоячей волны).

Если при разложении правой части уравнения (7.6) в степенной ряд учесть и второй член ряда, то приходим к следующему результату, описывающему тонкую структуру атомного спектра излучения, обусловленную наблюдаемым в опытах раздвоением его термов:

$$i\delta/\delta_0 \approx 1 + \frac{1}{2} \alpha^2 Z^2/n^2 - \frac{1}{8} \alpha^4 Z^4/n^4. \quad (7.8)$$

Количественно это решение даёт практически тот же результат, что и релятивистская формула П. Дирака [7], но отличается от последней качественно.

Во-первых; в формуле Дирака имеется дополнительное «компенсирующее» слагаемое $n/(j + 1/2)$, утверждающее влияние полного момента импульса j электрона, вносимого в систему при внешнем возбуждении атома. В нашем случае указанного параметра в формуле не оказалось, что вполне объяснимо: трудно вообразить себе практическую возможность внешнего «регулирования» в атоме угловой скорости и радиуса вращения электрона одновременно. Важно также отметить, что третье слагаемое соотношения (7.8) в аналогичной формуле Дирака имеет статус релятивистской поправки, которая якобы и обуславливает тонкую структуру атомных спектров излучения. В нашем случае такая структура никак не связывается с релятивистскими эффектами, ибо релятивистский множитель $(1 - u^2/c^2)^{-1/2}$ в уравнении (7.7) мы сознательно положили равным нулю. Тем самым утверждается и подтверждается абсолютный характер вращательного движения электрона в атоме.

7.5 Эффект Доплера

Разделим левую $\delta = miurc/ir = \hbar c/ir$ и правую части уравнения (7.7) на величину $i\delta_0 = im_0 c^2 = \hbar c/r_0$ и пренебрежём величиной второго порядка малости $\frac{1}{2}(U/\delta_0)^2$. С учётом (7.1) также имеем: $iU = i mu^2$.

Используя далее приближение $im \approx m_0 c/u$ соотношения (3.8), при $im_0 \equiv m_0$ приходим к формуле

$$\frac{r_0}{ir} = \frac{i\omega}{\omega_0} = \frac{1 - (u/c) \cos \gamma}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} \approx 1 + (u/c) \cos \gamma,$$

описывающей эффект Доплера. Здесь приближённое соотношение не учитывает множитель $(1 - u^2/c^2)^{-1/2}$, характеризующий так называемый поперечный эффект Доплера и проявляющий себя в релятивистских областях. Эффект Доплера удобно наблюдать и изучать на циклическом ускорителе заряженных частиц (рис. 7.3).

Если излучающий заряд движется на наблюдателя (измерительный прибор 1), угол γ между вектором его скорости и направлени-

Электронный пучокем наблюдаемого излучения равен нулю и согласно приближённой формуле

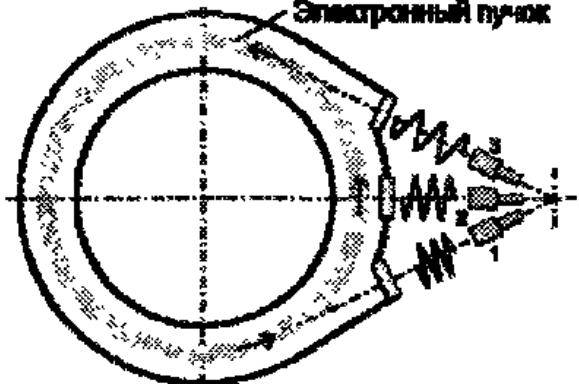


Рис. 7.3. Ускоритель заряженных частиц

прибором фиксируется повышенная частота излучаемого света $i\omega > \omega_0$. Если источник излучения удаляется от наблюдателя (измерительный прибор 3), то угол $\gamma = \pi$ и прибор фиксирует пониженную частоту света. При $\gamma = \frac{1}{2}\pi$ (измерительный прибор 2), и малых (дорелятивистских) скоростях движения заряда наблюдатель фиксирует частоту колебаний, совпадающую с частотой колебаний покоящегося источника излучения $i\omega = \omega_0$.

Полученная формула для эффекта Доплера хорошо согласуется с приведёнными ранее соотношениями релятивистской динамики, но расходится с данными СТО на этот счёт, которые мы представим в тех же обозначениях:

$$\frac{i\omega}{\omega_0} = \frac{\sqrt{1 - u^2/c^2}}{1 - (u/c) \cos \gamma} \cong \frac{1}{1 - (u/c) \cos \gamma}.$$

Видно, что приближённые соотношения, справедливые для дорелятивистских скоростей движения, то есть при $(u/c)\cos\gamma \ll 1$, в обоих

случаях дают один и тот же результат, хорошо совпадающий с данными измерений продольного эффекта Доплера. Это обстоятельство и явилось в своё время главным аргументом в пользу признания СТО. Однако поперечный эффект Доплера в СТО определяется множителем $(1 - u^2/c^2)^{1/2}$, дающим обратный результат в сравнении с предлагаемым нашей теорией. И для оценки справедливости сравниваемых теорий необходимо выполнить простые измерения: определить качественный характер излучения и поперечного эффекта Доплера в опытах.

Согласно СТО при увеличении скорости движения заряда частота $i\omega$ и энергия $i\varepsilon = \hbar i\omega$ излучения должны непрерывно уменьшаться, а прибор 2 фиксировать красное смещение спектра излучения при релятивистских скоростях заряда. А согласно нашей, неоклассической теории должна наблюдаться обратная картина: увеличение частоты и энергии излучения, голубое смещение спектра на приборе 2. На практике, как это следует из соотношения (3.4), реализуется исключительно последний случай, что предельно убедительно свидетельствует в пользу нашей теории.

7.6. Уравнения Шредингера

Уравнение (6.14) — далеко не единственная форма выражения волнового движения по рис. 1.3. В нём второе слагаемое представляет собой центростремительное ускорение в процессе вращения частицы вокруг оси спирали

$$d^2r/dt^2 = (iu)^2/r = -u^2/r.$$

При подстановке этой величины в (6.14) в результате несложных преобразований получаем

$$d^2r/dx^2 - (2mW_k/\hbar^2)r = 0,$$

где $W_k = \frac{1}{2}mu^2$ — кинетическая энергия частицы.

В классической и квантовой механике полная энергия движущейся частицы может быть представлена как сумма кинетической и потенциальной энергии $W = W_k + U$. Тогда последнее уравнение приобретает форму $d^2r/dx^2 = (2m/\hbar^2)(W - U)r$,

известную под названием стационарного волнового уравнения Шредингера. Отличие состоит лишь в том, что вместо вероятностной Ψ -

функции в уравнении фигурирует величина радиуса винтовой траектории частицы. Тем самым здесь решается один из сложнейших концептуальных вопросов КМ: *какой элемент физической реальности представляет волновая Ψ -функция и существует ли он вообще [28]?*

При $u/c \approx 0$ уравнение самовращения электрона в связанном состоянии с излучением ($F \neq 0$) может быть представлено балансом радиально направленных сил:

$$F_r + \Pi + mdu/dt = 0.$$

При скалярном умножении слагаемых уравнения на вектор F_r , оно преобразуется в квадратное алгебраическое:

$$F_r^2 + \Pi F_r = -md(iuF_r)dt.$$

После умножения слагаемых этого равенства на $dt = d\tau$, интегрирования в пределах от нуля до полупериода (с использованием подстановок $F_r\tau = miudr/dr = \hbar(d/dr)$ и $F_r = F_rdr/dr = d\phi/dr = i\hbar d\omega/dr$ для первого слагаемого, подстановки $F_r d\tau = mdu = mi\omega dr$ для второго слагаемого и подстановки $duF_r = d\phi = i^2\hbar d\omega$ для третьего слагаемого) и сокращения на im получаем следующее уравнение:

$$(\hbar^2/2m)(d^2\omega/dr^2) - U\omega = -i\hbar d\omega/dt.$$

Оно полностью совпадает с уравнением Шредингера для нестационарного состояния атома, одновременно наполняя его физическим содержанием: *вместо вероятностной Ψ -функции предлагают использовать физический параметр — частоту колебаний системы.*

7.7. Физическая природа квантовых корреляций

В классической механике элементарным объектом изучения является материальная точка, имеющая три степени свободы, а её движение описывается количественно пространственными координатами как функциями времени. Знание координат и импульсов точки в настоящем полностью характеризует её движение в прошлом и будущем (детерминизм классической механики) и тем самым даёт исчерпывающее описание физической реальности.

В квантовой механике Бора элементарным объектом изучения является материальная точка с бесконечным числом степеней свободы, задающим бесконечное множество возможных результатов измерения (решений) и тем самым определяющим принципиально неде-

терминированный характер событий. По этой причине предсказания квантовой теории носят исключительно вероятностный характер, а сравнение выводов теории с результатами экспериментов возможно лишь статистически. Движения материальной частицы в этом случае представляется посредством вектора состояния в гильбертовом пространстве или волновой функцией Ψ , изменения которой описываются операторным уравнением Шредингера.

Излагаемая здесь концепция неоклассической физики, как мы видели, имеет дело с материальной системой частица-поле. Такой выбор элементарного объекта изучения позволяет свести к тривиальной «самую фундаментальную концептуальную проблему квантовой механики — вопрос о физической природе квантовых корреляций» [7].

Корреляция событий в классических системах не представляет собой концептуальной проблемы: она объясняется наличием физических связей между частями системы, осуществляемых посредством сигналов с конечной скоростью распространения, не превышающей скорости света в пустоте. Квантовая механика допускает возможность случайных событий во всех точках физического пространства одновременно, и наблюдаемая на практике абсолютная корреляция таких событий в точках, разделённых пространственным интервалом, требует признания между событиями особых нефизических связей, осуществляемых сигналами с бесконечной скоростью распространения и названных квантовой телепортацией. Формальный выход из этого тупика был найден в формулировке принципа несепарабельности квантовой системы, под которой понимается неразрывность целого и его частей, невозможность разделить квантовую систему на части даже в теории.

Физическая природа этого свойства и самих квантовых корреляций до сих пор оставалась загадкой, но становится очевидной в рамках предлагаемой здесь концепции, оперирующей системой частица-поле. А именно: распад вещества квантовой частицы- поля вовсе не предполагает обязательного и сиюминутного распада их общего физического или силового поля; равно как и непременную сохранность такого поля на всё физическое пространство-время. Именно это обстоятельство, по нашему мнению, определяет физическое различие между сильными корреляциями несепарабельных квантовых объектов, объединённых общим и единым полем, и ослабленными корре-

ляциями классических объектов, взаимодействующих посредством индивидуальных физических полей.

Выводы к главе 7

- Учёт взаимодействия частицы с собственным силовым полем позволяет создать *физическую* теорию квантовых явлений, которая изначально является релятивистской, и органически объединить её с механикой.
- Движение электрона с излучением носит прерывистый вращательно-поступательный характер, в процессе которого его скорость самовращения достигает световой величины; при этом постоянная Планка характеризует сохраняемый момент импульса электрона.
- Взаимодействие электрона с внешним силовым полем носит обменный или причинный характер, а соотношение неопределённости характеризует зону упругого взаимодействия электрона с этим полем.
- Модель простейшего атома может быть представлена в виде комбинации ядра и вращающегося вокруг него по спирали электрона.
- Тонкая структура атомных спектров обусловлена не релятивистскими эффектами, а «суточным» или спиновым вращением электронов в атоме.
- В волновых уравнениях Дирака Ψ – функции могут быть сопоставлены элементы физической реальности: радиус спиральной траектории в стационарном уравнении и частота колебаний электрона — в нестационарном.

* * *

Глава 8. СВОЙСТВА АТОМНОГО ЯДРА

На базе обобщённого уравнения динамики Ньютона-Лоренца обсуждается физическая природа ядерных сил и энергетических закономерностей, обуславливающих широкое разнообразие свойств ядерной материи

8.1. Состояние вопроса и постановка задачи

Существование атомного ядра было открыто в 1911 г. английским физиком Э. Резерфордом. До этого атомы считались бесструктурными элементами (греч. *atomos* — неделимый). На момент открытия атомного ядра были известны только две элементарные частицы — протон и электрон, и больше двадцати лет считалось, что атомное ядро состоит только из них. В 1932 г. почти одновременно советским физиком Д. Иваненко и немецким физиком В. Гейзенбергом было высказано предположение о нейтронно-протонной структуре ядра, и в том же году нейtron был обнаружен экспериментально английским физиком Дж. Чедвиком.

Протон-нейтронная структура ядра сразу же породила сложную проблему выяснения природы ядерных сил, которые ни по величине, ни по характеру явно не сводились к известным электрическим (кулоновским) и гравитационным (ニュートоновским) силам. Наиболее характерными свойствами ядерных сил являются их чрезвычайно малый радиус действия и очень большое значение в пределах этого радиуса. Ядерные силы примерно в 10^6 раз превышают силы электромагнитного взаимодействия, поэтому за ними закрепилось название сильных взаимодействий. По отношению к ядерному взаимодействию протоны и нейтроны не различаются, поэтому они получили общее название — нуклоны. При этом в виртуальной физике предполагается, что сами нуклоны не являются элементарными частицами, а содержат в себе по три кварка, связанных глюонным силовым полем. Выделить кварки в свободном состоянии и тем самым подтвердить их реальность принципиально невозможно (теория конфайнмента), равно как не удалось экспериментально обнаружить и глюоны. Тем не менее, кварк-глюонная гипотеза позволила формально систематизировать многообразие частиц (адронов), участвующих в сильном взаимодействии.

вии, и сегодня она превратилась в очередной догмат.

Короткодействующий характер сильных ядерных взаимодействий качественно объяснил японский физик Х. Юкава в 1935 г., показав, что силовые поля нуклонов обусловлены виртуальным переносом особой, ранее неизвестной частицы. В дальнейшем выяснилось, что такими частицами являются открытые в 1947 г. Пауэллом псевдоскалярные π -мезоны с массой, равной 273 массы электрона. Теперь эти частицы называют пионами, а раздел физики, изучающий сильные ядерные взаимодействия на микроскопическом уровне — квантовой хромодинамикой.

Существенную роль в ядерной физике играют также слабые взаимодействия, проявлением которых являются взаимные превращения нейтрона и протона или β -распад. Благодаря слабым взаимодействиям нестабильные ядра путём последовательных β -распадов переходят в ядра с оптимальным соотношением между числом нейтронов и протонов, обеспечивающим стабильность ядра. Сегодня слабые взаимодействия изучаются совместно с электромагнитными в рамках объединённой теории электрослабых взаимодействий. А кварковая модель сильных взаимодействий и теория электрослабых взаимодействий составляют так называемую Стандартную модель (СМ) фундаментальных частиц и взаимодействий, впервые в истории науки объясняющую все известные экспериментальные факты в физике микромира, полученные на ускорителях элементарных частиц.

Парадокс, однако, состоит в том, что внутренняя логика самой Стандартной модели и история развития и освоения ускорительной техники указывают на временный характер достигнутого статус-кво: до очередного введения в строй более мощных ускорителей элементарных частиц с их неизбежными сюрпризами. Из рис. 6.1 с затемнённой фигурой следует, что процесс рождения новых элементарных частиц в ускорителях принципиально ничем не ограничен. И уже сегодня количество элементарных частиц, полученных на ускорителях, в три раза превышает необходимое для формального построения наблюдаемого материального мира: u - и d -кварки, а также электрон и электронное нейтрино. Помимо этого семейства «существенных» частиц уже открыто ещё два семейства элементарных частиц «несущественных», т. е. не участвующих в процессе создания мате-

рии. И поговаривают о предстоящем открытии ещё одного семейства «несущественных» частиц.

«Стандартная модель действительно объясняет многое, — считает один из её создателей Ш. Л. Глешоу. — Тем не менее, она пока не является истинной теорией, главным образом потому, что не удовлетворяет наивной вере физика в элегантность и простоту. Она содержит порядка 17 якобы элементарных частиц и точно такое же количество произвольных параметров, типа постоянной тонкой структуры, отношения масс мюона и электрона и различных таинственных углов смешивания (Каббibo, Вайнберга, Кобаяши-Маскавы). Уж конечно, Бог не крутит 17 раз телефонный диск на своём чёрном ящике перед Большим взрывом и его славным сиквелом — человечеством. Наша современная теория незакончена, недостаточна и неэлегантна». Автор делает далее следующий неутешительный вывод: «Физика элементарных частиц... кажется бесконечной дорогой в никуда» [40].

Нас в данной работе в решающей мере интересует не структура материи, а её динамические и энергетические свойства. Недостаточное знание свойств сильных ядерных взаимодействий и сложности энергетического расчёта систем, состоящих из десятков и сотен сильно взаимодействующих частиц, вынудило теоретиков проводить количественные расчёты не в отношении реальных ядер, а в отношении некоторых упрощённых макроскопических систем, получивших название ядерных моделей. Наибольшее распространение получили две из них — капельная (гидродинамическая) и оболочечная. Они описывают различные свойства ядер и процессы в них, и каждая имеет свою область применения. Используемая здесь вязкоупругопластическая модель реальных тел в приложении к капельной ядерной модели продолжает эту традицию и, как мы покажем, кардинально расширяет область её применения.

Здесь уместно ещё раз подчеркнуть, что предлагаемый нами макроскопический подход к описанию физических, в частности, ядерных взаимодействий никак не связан со структурой материи. Поэтому получаемый результат остаётся справедливым при любых, практически неизбежных пересмотрах этой структуры и видоизменениях Стандартной модели, вплоть до её фактического упразднения как системы знаний в рамках предлагаемой здесь физической концепции (см. п. 3.3). Это обстоятельство, на наш взгляд, является решающим

при выборе основного направления в попытках глобального синтеза физической картины неживой природы.

8.2. Гравитационный характер ядерных взаимодействий

Ядерные силы между нуклонами лёгкого ядра, например, гелия формируются за счёт уменьшения гравитационных сил составляющих его нуклонов — нейтронов и протонов. Об этом прямо свидетельствует возникновение дефекта масс при ядерном синтезе лёгких ядер. Сущность этого явления заключается в том, что масса ядра гелия оказывается меньше суммы масс составляющих его нуклонов. Это обстоятельство само по себе приводит нас к необходимости признания гравитационного характера ядерных взаимодействий.

Выше был получен довольно неожиданный результат: энергия гравитационной связи (4.17) в планетарной системе проявляет себя как сильное взаимодействие, распростра-

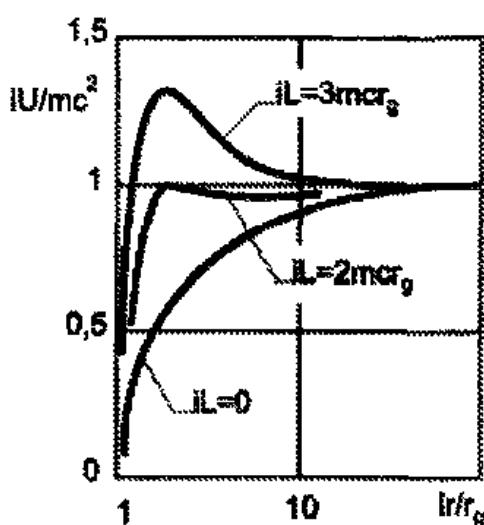


Рис. 8.1. Зависимость $iU(ir)$ для трёх значений параметра iL/mcr_g

няющееся на короткие расстояния. Очевидно, что в таком случае гравитация способна взять на себя ответственность и за короткодействующую связь нуклонов в атомном ядре. Полагаем далее, что отрицательная ветвь функции (4.17) описывает характер изменения энергии связи материальных объектов, испытывающих взаимное притяжение: гравитационные массы, взаимодействие электрона с ядром в атоме. Тогда положительная её ветвь представляет энергию связи объектов, испытывающих взаимное отталкивание, например, взаимодействие протонов в ядре или при столкновении в ускорителе заряженных частиц. На рис. 8.1 эта функция построена для трёх численных значений параметра iL/mcr_g .

Обратимся к конкретному примеру. Для нуклонов в ядре, как известно, энергия связи не превышает одного процента от их внутренней энергии (для протона $m_p c^2 = 938,3$ МэВ) и составляет в среднем 7...8 МэВ на один нуклон. На рис. 8.1 такому значению потенциаль-

ногого барьера отвечает средняя кривая для момента импульса $iL/mcr_g \approx 2,0$. Гравитационный радиус ядра атома гелия составляет величину $r_g \approx 10^{-51}$ см, а радиус орбиты нуклонов в ядре — $2,0 \cdot 10^{-13}$ см. Подставляя эти данные в соотношение $2mcr_g = miur$ для средней кривой рис. 8.1, получаем следующие значения параметров движения нуклонов в ядре: скорость вращения $i\bar{u} \approx 3 \cdot 10^{-28}$ см/сек, частота вращения — один оборот за $1,3 \cdot 10^8$ лет.

Таким образом, ядро атома гелия (α -частица) представляет собой практически не вращающуюся пространственную структуру, которая характеризуется сравнительно

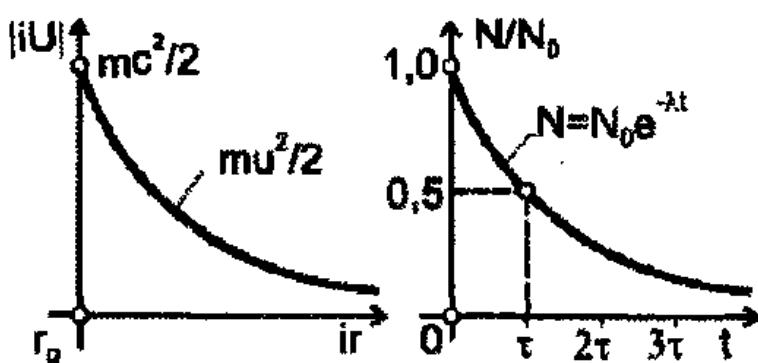


Рис. 8.2. Экспоненциальный закон радиоактивного распада тяжёлых ядер

слабым гравитационным взаимодействием нуклонов между собой. Причём далее мы покажем, что невозбуждённому состоянию ядра отвечают радиальные колебания нуклонов вдоль пересекающихся прямых линий, возбуждённому — колебания с угловым отклонением (по гиперболе).

Нижняя кривая на рис. 8.1 отвечает нулевому значению параметра iL/mcr_g , при котором нуклоны в ядре не врачаются, а ядро не имеет чётких границ. Покажем, что такая характеристика пригодна для описания самопроизвольного (радиоактивного) распада тяжёлых ядер (α -распада), поскольку прямо ведёт к формулировке известного закона радиоактивного распада.

На рис. 8.2 слева указанная характеристика на основании (4.8) и (4.2) перестроена в зависимость кинетической энергии $\frac{1}{2}mi^2$ колебаний нуклона от его положения в ядре. Максимальному её значению отвечает положение нуклона на расстоянии r_g от центра ядра, при удалении от этого центра энергия колебаний уменьшается. Мы получили, таким образом, закон распределения нуклонов в объёме ядра по энергиям колебаний, который математически может быть представлен экспонентой.

Очевидно, что указанный закон справедлив и в отношении сум-

марной энергии колебаний совокупности N_0 ядер вещества. Поделив далее указанную энергию на среднюю энергию колебаний одного нуклона и имея в виду, что в условиях единства пространства-времени движение в пространстве может быть заменено движением во времени, приходим к закону радиоактивного распада

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

графически изображённому на рис. 8.2 справа; здесь λ — постоянная, характеризующая скорость распада, t — период полураспада. Он полностью совпадает по форме с известным статистическим законом радиоактивности, но в отличие от последнего является чисто физическим по содержанию.

Экспоненциальная зависимость $iU(ir)$ при $iL = 0$ характерна и для частиц, испытывающих взаимное притяжение (см. верхнюю кривую на рис. 4.9). Это обстоятельство может служить теоретическим обоснованием β -распада, в частности, распада нейтрона на протон, электрон и антинейтрино.

Характер представленных на рис. 8.1 зависимостей $iU(ir)$ объясняет причины полувековых неудач в решении проблемы практического освоения энергии реакций термоядерного синтеза. Последний предполагает доведение лёгкого ядерного вещества (дейтерий) до столь высоких температур и энергии нуклонов, при которых они способны преодолеть потенциальный барьер взаимного отталкивания протонов (рис. 8.1, верхняя кривая) и слиться с образованием более тяжёлых ядер (гелий) и выделением энергии. Между тем, как мы видели, возникновение потенциального барьера есть результат повышения энергии нуклонов: чем выше энергия частицы, тем больше потенциальный барьер, противодействующий слиянию нуклонов. Последнее возможно только при замедлении частиц (нижняя кривая на рис. 8.1), т. е. при низких значениях энергии частиц и высоких плотностях исходного ядерного вещества. Тщательный энергетический анализ, представленный нами в разделе 8.5, подтверждает наш вывод.

8.3. Потенциальные характеристики ядра

Выше мы рассмотрели структуру и свойства атомных ядер на микроскопическом уровне, исходя из уравнения движения частицы-поля. Полученный результат позволяет судить о причинах широкого

разброса характеристик «прочности» ядерной материи: от высокой стабильности лёгких ядер до самопроизвольного распада тяжёлых. Дополнительную информацию можно получить при анализе разрушения ядерной материи как сплошной среды, используя расчётную схему рис. 1.1, б и уравнения (1.4) и (2.1) вязкоупругопластического разрушения (сдвига) реальных тел; решение последнего представлено соотношением (2.2) и графиками рис. 2.2.

Чтобы сопоставить полученный результат с известными данными относительно структуры и свойств атомных ядер, преобразуем гра-

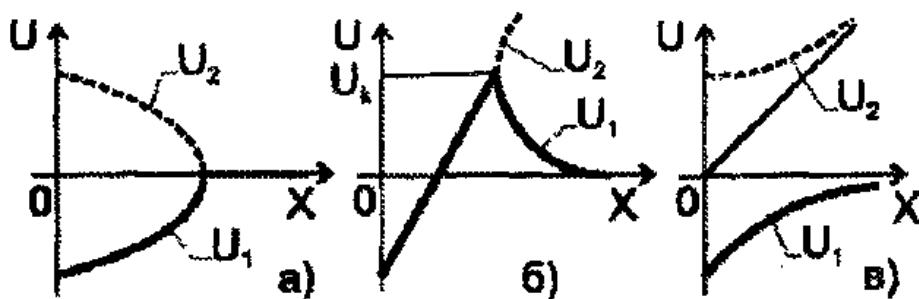


Рис. 8.3. Потенциальные характеристики вязкопластического (а), вязкоупругого (б) и вязкоупругопластического (в) режимов разрушения ядра

фики рис. 2.2. Для этого каждую из величин F и γ , изображающих координатные оси, умножим на величину перемещения деформатора ut . Тогда новая ось абсцисс отобразит абсолютную величину деформаций сдвига граничного слоя (ядерной материи) $x = ut$, а ось ординат — потенциальную энергию деформации ядра $U = F ut$ в режиме постоянной мощности деформирования $\dot{W} = \text{Const}$. На рис. 8.3 эти зависимости воспроизведены в новых координатах, причём за нулевой потенциал по определению принято его значение при $x \rightarrow \infty$, т. е. графики функций $U(x)$ смешены по оси ординат относительно исходных графиков функций $F(\gamma)$.

Будем исходить из того, что пластическая составляющая Π обеспечивает взаимное притяжение нуклонов в ядре и обусловлена массой ядра, т. е. наличием в нём нуклонов обоих типов — нейтронов и протонов, в то время как упругая составляющая есть результат взаимного кулоновского отталкивания положительно заряженных протонов в ядре. Тогда изображённые на рис. 8.3 характеристики $U(x)$ можно интерпретировать как возможные формы потенциальных ям

для различных атомных ядер и попытаться с их помощью объяснить известную экспериментальную зависимость средней энергии связи ядра на нуклон от массового числа A .

Характеристика $U_1(x)$, изображённая на рис. 8.3, *a* жирной линией, отображает идеальный вязкопластический режим разрушения ядерной материи; в этом случае упругие силы в ядре полностью отсутствуют, что характерно, например, для взаимодействующей пары протон-нейтрон в дейтоне. Зависимость $U_1(x)$ по рис. 8.3, *б* определяет идеальный вязкоупругий режим разрушения ядра, который в чистом виде в природе не встречается; в зависимости от соотношения упругих и пластических свойств ядра острый «пик» характеристики в той или иной мере сглаживается. Наконец кривая $U_1(x)$ по рис. 8.3, *в* задаёт вязкоупругопластический режим разрушения ядра, когда в нём упругие и пластические свойства проявляются в равной мере.

Очевидно, что наибольшую «прочность» или энергию связи ядра обеспечивает зависимость $U_1(x)$ вязкоупругого взаимодействия нуклонов по рис. 8.3, *б*, для которой характерно наличие потенциального барьера или «пика» U_k . Менее прочным, хотя и устойчивым, является ядро с потенциальной ямой по рис. 8.3, *а*. Потенциальная яма по рис. 8.3, *в* не задаёт чётких границ ядра и поэтому не может обеспечить высокой стабильности ядерной материи.

8.4. Энергия связи на нуклон

На рис. 8.4 показана идеализированная экспериментальная зависимость энергии связи на нуклон для различных атомных ядер, ха-

рактеризуемых числом нуклонов A , а под ней изображены

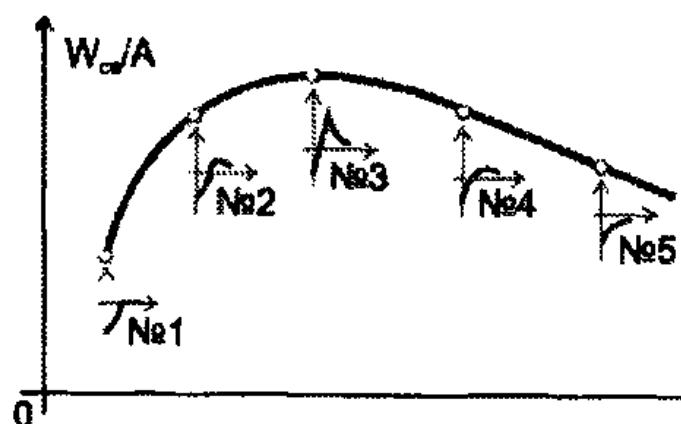


Рис. 8.4. Зависимость средней энергии связи на нуклон от массового числа ядра

соответствующие потенциальные характеристики $U_1(x)$ ядер, пронумерованные от №1 до №5.

Самому лёгкому ядру — дейтону соответствует идеальная вязкопла-

стическая форма потенциальной ямы (№1) и наименьшая величина энергии связи. По мере увеличения числа нейтронов и протонов в ядре заряд его увеличивается и упругие свойства проявляются всё в большей мере, а энергия связи на нуклон возрастает. На рис. 8.4 этому соответствует потенциальная характеристика №2, представляющая собой некую переходную форму характеристик по рис. 8.3, *a* и рис. 8.3, *b* со сглаженным «пиком».

Максимуму энергии связи на нуклон отвечает потенциальная характеристика №3 вязкоупрого взаимодействия нуклонов, имеющая максимальную высоту потенциального барьера; она в наибольшей мере приближается к идеальной характеристике по рис. 8.3, *b* с острым «пиком». По мере дальнейшего увеличения массового числа в ядрах, как известно, количество нейтронов начинает заметно преобладать над количеством протонов и пластические свойства проявляются всё в большей мере. Это приводит сначала к ещё большему сглаживанию «пика» в характеристике $U_1(x)$ (№4), а затем к полному его исчезновению в потенциальной характеристике №5 вязкоупругопластического взаимодействия нуклонов; в последнем случае мы имеем дело с тяжёлыми нестабильными (радиоактивными) ядрами. Таким образом, уменьшение энергии связи на нуклон для лёгких ядер (левая ветвь кривой на рис. 8.4) обусловлено малым суммарным зарядом, а для тяжёлых (правая ветвь) — избытком нейтронов в ядре; и в том и в другом случаях это связано с проявлением пластических свойств ядерной материи.

Представленные на рис. 8.3 графики предлагают ещё три решения — в виде потенциальных характеристик $U_2(x)$, изображённых пунктирными линиями, — которые могут быть использованы для объяснения других свойств ядерной материи. В частности, характеристика вязкопластического взаимодействия $U_2(x)$ по рис. 8.3, *a* пригодна для описания слабого взаимодействия, наблюдаемого при β -распаде ядер, а характеристика $U_2(x)$ по рис. 8.3, *b* (вязкоупругое взаимодействие) и рис. 8.3, *c* (вязкоупругопластическое взаимодействие) с большой степенью вероятности указывают на безуспешность попыток разделить протон или электрон на составные части — кварки или другие элементы первоматерии.

В зависимости от величины дискриминанта

$$\Delta = \frac{1}{4}a\dot{W} (K\Pi - a\dot{W})$$

квадратное уравнение (2.1) может описывать либо пару пересекающихся прямых (при $\Delta = 0$), либо гиперболу (при $\Delta \neq 0$). Первый случай реализуется при условии $\dot{W} = 0$, отвечающем невозбуждённому состоянию ядра (рис. 8.5, а), и при режи-

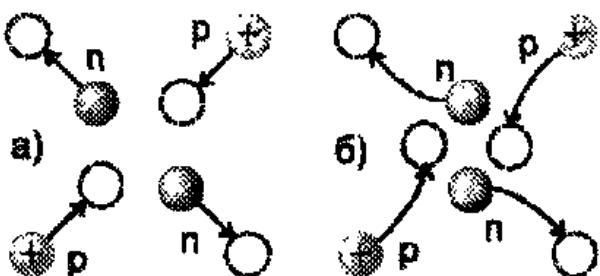


Рис. 8.5. Движение нуклонов в невозбуждённом (а) и возбуждённом (б) ядре атома гелия

ме возбуждения, определяемом условием $K\Gamma = a \dot{W}$, который логично связать с избирательным поглощением энергии веществом, получившим название ядерного магнитного резонанса. Второй случай соответствует возбуждённому состоянию ядра (рис. 8.5, б), при котором оно излучает энергию. Таким образом, в рамках принятой концепции появляется возможность конструирования различных моделей ядра, общей чертой которых является поведение его составных частей: в возбуждённом ядре колебания нуклонов должны осуществляться вдоль кривых линий (гипербол), в невозбуждённом — вдоль прямолинейных траекторий.

8.5. Пример. Проблема ядерного энергетического синтеза

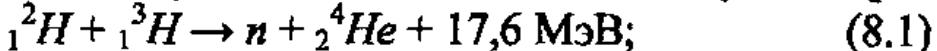
Введение. Перспективы промышленной энергетики виртуальная физика связывает с решением проблемы термоядерного синтеза лёгких элементов в рамках международного проекта ITER. Об этом свидетельствует присуждение международной премии «Глобальная энергия» за 2006 год трём участникам этого проекта. В «малой» энергетике господство на обозримое будущее, по-видимому, сохранит за собой поршневой ДВС с переводом его на водородное топливо. Таковы наиболее «реальные» прогнозы на развитие энергетики.

А вот примечательный факт её истории. Условия практической реализации ядерного синтеза впервые были искусственно воспроизведены в водородной бомбе и обеспечены в СССР в течение одной пятилетки. Отечественный же проект ТОКАМАК по мирному использованию ядерного синтеза уже отметил свой первый 50-летний юбилей. Каких-либо практических результатов за это время не получено и, как мы полагаем, не случайно.

В чём причина неудач в затянувшихся исследованиях проблемы управляемого термоядерного синтеза и возможно ли принципиальное решение энергетической проблемы за счёт ядерного синтеза?

О ядерном «парадоксе». Согласно современным научно-физическим представлениям основным процессом, постоянно протекающим в космосе, является замедленный термоядерный синтез гелия из изотопов водорода, осуществляемый за счёт туннельного эффекта в недрах Солнца и других звёзд. Благодаря ему Вселенная наполнена энергией, которая и обеспечила возможность возникновения жизни на Земле.

Напомним, что любое составное или сложное атомное ядро обладает внутренней энергией $\beta = mc^2$ или эквивалентной массой m меньшей, чем сумма энергий или масс составляющих его нуклонов (протонов и нейтронов). Разность или «дефект» этих масс определяет отрицательную энергию связи нуклонов в составном ядре. По этой причине при образовании сложного ядра из более лёгких элементов должна высвобождаться энергия; и наоборот, чтобы разбить ядро на составные части, надо сообщить ему энергию, превышающую энергию связи. В частности, синтез гелия из тяжёлых изотопов водорода — дейтерия и трития — осуществляется согласно следующей реакции:



здесь в левой части представлены исходные изотопы водорода, справа — получаемые в результате реакции ядро гелия, нейтрон n и их энергия.

Логика и закон сохранения энергии подсказывают, что обратное превращение гелия в изотопы водорода даже в идеальном случае потребует энергии не меньше 17,6 Мэв. И здесь некоторые склонны усматривать противоречие с фактом облучения гелия потоком быстрых протонов p в прямой ядерной реакции



которая осуществляется практически при нулевом балансе энергии. Последнее даёт повод уподобить процесс (8.2) фазовому превращению воды из жидкого состояния в парообразное, которое в природе осуществляется как бы само собой, за счёт тепла окружающей среды, получаемого от Солнца.

В реакции (8.2) один протон выбивает из ядра гелия другой, пре-

вращая его в тритий, а сам, очевидно, способен без затрат энергии объединиться с нейтроном, оставшимся от реакции (8.1), и образовать ядро дейтерия согласно реакции



Налицо, таким образом, кругооборот изотопов водорода и гелия в природе, не вписывающийся, однако, в рамки прямолинейного и примитивного толкования закона сохранения энергии, широко распространённого даже в среде физиков.

Сущность закона сохранения и превращения энергии. Реакциям (8.1) – (8.3) можно сопоставить другую, более простую и наглядную аналогию. При сжигании спиленного дерева в паровозной топке выделяется тепловая энергия, используемая для выполнения значительной работы. Обратный процесс не требует эквивалентных затрат энергии: в природе дерево вырастает «как бы само собой», за счёт энергии окружающей среды. При этом оказывается, что оба процесса — прямой и обратный — осуществляются в полном соответствии с законом сохранения и превращения энергии. Правда, если иметь в виду не примитивное, а строгое его толкование в двух известных формах, называемых первым и вторым законами или началами термодинамики. Повторим здесь главное на этот счёт.

Согласно первому закону термодинамики тепловая энергия Q , подводимая к рабочему телу в термодинамическом цикле всегда распределяется: одна часть её идёт на выполнение полезной работы L тепловой машиной, другая на повышение внутренней энергии W окружающей среды:

$$Q = L + W. \quad (8.4)$$

Из этого следует, что внутренняя энергия окружающей среды априори есть теплота, которая не может быть преобразована в работу (рассеянная теплота). Это обстоятельство и обуславливает справедливость второго закона термодинамики, исключающего возможность преобразования рассеянной теплоты в работу в ВД-2 или монотермическом двигателе.

При этом главное содержание второго закона термодинамики можно выразить в виде знаменитого соотношения Карно для подсчёта предельно возможного термического КПД цикла:

$$L/Q = 1 - T_0/T_1. \quad (8.5)$$

Оно прямо указывает на необходимость включения в схему тепловой

машины по меньшей мере двух теплообменников: нагревателя рабочего тела с температурой T_1 и охладителя с температурой T_0 ; в качестве последнего как правило используется окружающая среда.

Из соотношения (8.5) следует, что эффективность преобразования теплоты в работу (КПД цикла) тем выше, чем больше разнятся между собой температуры нагревателя и охладителя. А эффективность преобразования теплоты во внутреннюю энергию окружающей среды очевидно определяется соотношением

$$W/Q = T_0/T_1; \quad (8.6)$$

то есть, напротив, тем выше, чем ближе температура нагревателя к температуре среды-охладителя. Видно, что наибольшая эффективность преобразования теплоты во внутреннюю энергию достигается в условиях температурного равновесия $T_0 = T_1$, когда теплообмен возможен исключительно в процессе массообмена. Это и наблюдается в природе, в частности, в растительном и животном мире.

Таким образом, в природе в равной мере и в полном согласии с первым (8.4) и вторым (8.5) началами термодинамики эффективно реализуются два обратимых процесса преобразования материи — при высоком и низком температурных градиентах или напорах. В первом (при $T_1 \gg T_0$) процессе происходит частичное преобразование вещества в свободную энергию, способную производить работу; ему соответствует ядерная реакция (8.1) синтеза гелия и процесс сжигания дерева в паровозной топке. Во втором (при близких значениях T_1 и T_0) процессе мы имеем дело с обратным преобразованием энергии в вещество; ему соответствуют ядерные реакции (8.2) и (8.3) воспроизводства изотопов водорода из гелия под воздействием космических частиц p и процесс естественного роста дерева.

Энергетическая иллюзия. Вернёмся к ядерной реакции синтеза (8.1) и зададимся вопросом: почему она давно реализована в водородной бомбе и оказалась не реализуемой в ТОКАМАКе? И поищем ответ на него всё в тех же первом (8.4) и втором (8.5) началах термодинамики. Снова обратимся к аналогии. Реакция горения топливной смеси в поршневом двигателе, например, запускается просто: для этого холодную топливную смесь в цилиндре предварительно сжимают, производя над ней работу L и повышая тем самым внутреннюю энергию W смеси. Согласно уравнению (8.4) это приводит к на-

рушению баланса между содержащейся в смеси теплотой Q (левая часть уравнения) и возросшими параметрами правой части уравнения. Стремление мудрой природы устраниТЬ это неравенство вызывает самопроизвольное или от небольшой искры воспламенение топливной смеси, а затраченная на сжатие смеси работа с избыткомозвращается потребителю при расширении горячих газов в цилиндре.

Похожим образом запускается реакция (8.1) и осуществляется процесс взрыва в водородной бомбе. Здесь решающую роль играет предварительное сжатие смеси дейтерия с тритием под воздействием запального атомного взрыва. При этом плотность смеси возрастает и ионы дейтерия и трития сближаются до расстояний, при которых проявляются силы ядерного притяжения, превосходящие силы их электромагнитного отталкивания. Важно также, что в этом случае скорость относительного движения взаимодействующих ионов, которую принято отождествлять с температурой частиц, сравнительно не велика, чтобы процесс синтеза ядер дейтерия и трития успел завершиться. Иными словами, в водородной бомбе фактически реализуется не термо-, а бароядерный синтез лёгких элементов.

Иначе обстоит дело в ТОКАМАКе. Здесь через рабочую плазму из смеси ядер дейтерия и трития пропускают электрический разряд, подводя тем самым к смеси джоулеву теплоту Q и повышенную температуру плазмы в надежде преодолеть потенциальный барьер взаимного отталкивания протонов смеси. Это приводит к одновременному увеличению и внутренней энергии W плазмы, и работы L , затрачиваемой на разгон частиц дейтерия и трития. При этом баланс параметров в левой и правой частях уравнения (8.4) сохраняется, а следовательно и сохраняется тенденция к дальнейшему неограниченному поглощению тепловой энергии такой смесью.

Природа пытается сама нарушить этот баланс в нужную нам сторону, сопроводив электрический разряд появлением магнитного поля, сжимающего плазму и тем самым дополнительно повышающего внутреннюю энергию W исходной плазмы. Однако её усилия оказываются тщетными: при геометрических параметрах возникающего кольцевого плазменного шнуря (тонкий и длинный), характерных для ТОКАМАКА и ему подобных реакторов, плазменный шнур оказывается неустойчивым и попросту разрушается.

Заметим также, что в описанном процессе ионы высокотемпера-

турной плазменной смеси хаотически движутся относительно друг друга с огромной скоростью. В этих условиях даже случайное их сближение на расстояния, при которых начинают действовать ядерные силы, не приводит к нужному результату: слишком мало время взаимного ядерного притяжения на миг сближающихся и расходящихся ионов. На лобовое столкновение их рассчитывать также нет оснований, ибо заряды чувствуют друг друга на большом расстоянии. Не возникает и каких-либо других побудительных причин для их слияния и выделения дополнительного тепла в реакции, и мы имеем то, что имеем: возможность дальнейшего повышения так называемого критерия Лоусона, по которому принято оценивать достижения в термоядерном синтезе, без надежды получить когда-либо ощущимый положительный энерговыход в реакции.

Ибо чем больше температура исходной плазменной смеси дейтерия с тритием в реакции (8.1), тем ближе к ней температура ядер случайно образовавшегося в реакции гелия, тем меньше КПД реакции отличается от нуля согласно соотношению (8.5) и сильнее проявляется тенденция к экономически более выгодному в таких условиях распаду гелия в согласии с соотношением (8.6). И трудно вообразить, что разработчики ТОКАМАКОв и их международной версии ITER не отдают себе в этом ясного отчёта. Следовательно поиск глобальных энергетических решений и их тщательное изучение и экспериментальную проверку сегодня необходимо расширить.

Гравитационный синтез лёгких ядер. На рис. 8.6, а изображена картина распределения частиц газа в условиях гидростатического равновесия между силами тяжести и давлением согласно Л. Больцману: газ уплотнён в

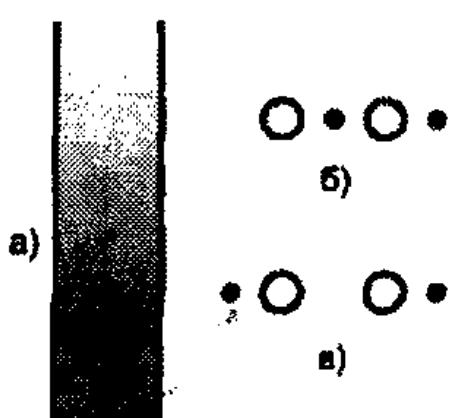


Рис. 8.6. Распределение частиц газа и плазмы в гравитационном поле

нижних слоях сосуда и разрежён в верхних. Аналогично ведёт себя квазинейтральная плазма. Причём оказывается, что этому никак не препятствуют силы кулоновского отталкивания одноимённо заряженных частиц. И вот почему.

Природная макроскопическая квазинейтральность плазмы означает, что на микроуровне взаимное расположение ионов и электронов, представленное на схеме «б» рис. 8.6 и определяемое как локальная квазинейтральность, является более предпочтительным, чем представленное на схеме «в» в виде нарушения её. Иными словами, гравитационные и кулоновские силы между ионами плазмы проявляют себя по-разному: первые присутствуют всегда, вторые — только в момент случайного и кратковременного нарушения локальной квазинейтральности плазмы. Это и приводит к упомянутому уплотнению частиц газа или плазмы на дне сосуда, тем большему, чем большие силы гравитации.

В недрах звёзд и нашего Солнца гравитационные силы столь велики, что принципиально способны вызывать слияние отдельных протонов и образование сложных ядер, которое сопровождается энерговыделением. В отличие от водородной бомбы этот процесс не носит взрывного характера, а является относительно медленным, обусловленным малой скоростью «падения» протонов в центральную зону или зону синтеза в условиях гидростатического равновесия вещества. Он получил название туннельного эффекта и связывается в современной физике исключительно с квантовой вероятностью преодоления микрочастицей потенциального барьера, существенно превосходящего собственную энергию.

Магнитная природа тяготения. Таким образом, для воспроизведения процесса синтеза лёгких ядер за счёт туннельного эффекта необходимо создать такие условия в рабочей зоне реактора, при которых тенденции кратковременного взаимного кулоновского отталкивания ионов плазмы противостоит обратная — постоянно действующее взаимное притяжение массивных ядер, например, за счёт сильного, искусственно созданного квазигравитационного поля. И в рамках неоклассической физической концепции такая возможность чётко просматривается.

Согласно нашим исследованиям тяготение имеет магнитную природу, а гравитационный захват и образование планетной системы происходит по схеме, описанной в разделе 4.4. При этом энергия iU связи тел массой M и m в планетной системе определяется выражением

$$iU/mc^2 = -\sqrt{(1 - r_g/ir)[1 + (iL/mcir)^2]}, \quad (8.7)$$

где $r_g = 2GM/c^2$ — гравитационный радиус центрального тела, $L = mir = \text{Const}$ — момент импульса планеты при вращении со скоростью i по орбите радиуса r , G — гравитационная постоянная, c — скорость света в вакууме, ir — смещение плоскости орбиты планеты от центрального

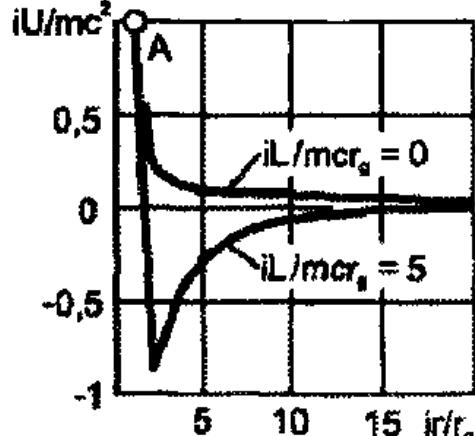


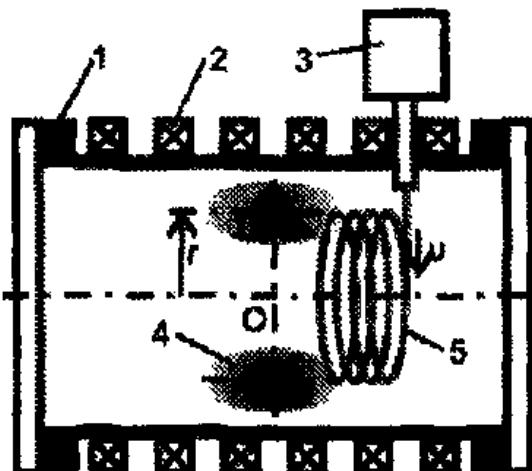
Рис. 8.7. Функция (8.7) гравитационного захвата тела при образовании планетной системы

тела. На рис. 8.7 по соотношению (8.7) построена зависимость энергии связи iU тела или частицы массой m от параметра ir по мере сближения с планетной системой в процессе гравитационного захвата. Графики построены для двух значений параметра L/mcr_g и сдвинуты по оси ординат так, что отсчёт значений энергии связи, согласно утверждавшейся традиции, ведётся от величины $E_0 = m_0c^2$ энергии покоя частицы. Характер графиков указывает на обязательное условие, при котором возможен надёжный гравитационный захват материальной частицы: она должна вращаться и чем быстрее, тем лучше. Толь-

Рис. 8.8. Схема реактора ядерного синтеза лёгких элементов.

ко в этом случае функция (8.7) имеет «провал» или потенциальную «яму», на дне которой может устойчиво расположиться частица-планета.

Магнитный синтез лёгких ядер. Предлагаемый нами реактор ядерного синтеза (рис. 8.8) выполнен в виде вакуумного цилиндра 1 с электромагнитной катушкой 2, создающей рабочую зону с магнитным полем B , в которую плазменными пушками 3 инжектируется готовая квазинейтральная плазма. Инжекция плазмы осуществляется со средней скоростью частиц i под близким углом к сило-



вым линиям поля в направлении касательной к воображаемой окружности радиуса

$$r = mu/eB.$$

На уровне её вблизи центра О магнитного поля формируется кольцевой плазменный сгусток или «бублик» 4 из тяжёлых ионов дейтерия и лёгких электронов. В схеме предусмотрены также вакуумный насос и системы регулирования величины магнитной индукции и поддержания расчётного скоростного режима вращения тяжёлых ионов плазмы (не показаны).

Согласно классической электродинамике каждый из вращающихся ионов дейтерия задаёт кольцевой ток 5, который формирует собственное магнитное поле и может быть уподоблен кольцевому проводнику с током. И при одинаковом направлении токов такие «проводники» или ядра-магниты неограниченно сближаются за счёт амперовых сил магнитного притяжения. При этом, как показывает опыт, кулоновские силы не препятствуют такому сближению, поскольку положительные и отрицательные заряды в среде «проводников» компенсируют друг друга. А магнитное самоуплотнение ионов придаёт плазменному сгустку повышенную устойчивость, обеспечивая минимальные потери частиц на стенках реактора.

Легко видеть, что здесь реализуется модель описанного в разделе 4.4 гравитационного захвата и образования планетной системы, центральное тело в которой формально отсутствует (параметр r_g в соотношении (8.7) равен нулю), а роль планет играют вращающиеся ионы дейтерия с зарядом e . Между последними и центром О магнитного поля имеется магнитная или квазигравитационная связь, энергия которой в отсутствие центрального тела определяется соотношением

$$iL/mc^2 = -\sqrt{1 + (iL/mcir)^2}$$

и задаёт потенциальную «яму» бесконечной глубины. Это обстоятельство, в свою очередь, обеспечивает тенденцию к бесконечному же уплотнению частиц квазинейтрального плазменного сгустка в направлении к центру О поля.

И рано или поздно это не может не привести к началу слияния ионов дейтерия с образованием ядер гелия-4 и выделением гамма-квантов свободной энергии. Насколько рано, насколько поздно и при какой скорости энерговыделения — предсказать трудно: это опреде-

ляется параметрами конкретной установки, правильно задать которые позволит только эксперимент. Ясно одно: чем большей будет скорость вращения ионов плазменного сгустка и сильнее магнитное поле в рабочей зоне реактора, тем меньше потребуется времени для прохождения ионами энергетического «туннеля» и запуска процесса синтеза, тем с большей скоростью будет проходить реакция синтеза и большей окажется выходная энергетическая мощность реактора.

Описанный способ синтеза ориентирован на однокомпонентную плазму на основе дейтерия и наиболее эффективную по энерговыделению реакцию ${}_1^2H + {}_1^2H \rightarrow {}_2^4He + 24,0 \text{ МэВ}$.

В этом случае тяжёлые вращающиеся ионы располагаются на одном общем радиусе вращения, что облегчает процесс их слияния. При этом по меньшей мере две принципиальные особенности выгодно отличают предлагаемое решение от термоядерного направления и вселяют надежду на успех:

- в проекте используется низкотемпературная плазма, что упрощает задачу создания промышленного образца реактора;
- интенсивное вращение тяжёлых ионов плазмы, обеспечивающее её магнитное самоуплотнение и самоизоляцию от стенок реактора, делает практически не нужным установку магнитных пробок.

И, как мы полагаем, в случае неудачи настоящего проекта с мечтой об управляемом ядерном синтезе следует окончательно расстаться.

Выводы к главе 8

- Ядерные и гравитационные силы имеют единую природу: они обусловлены совместным действием силового магнитного поля и поля сил инерции взаимодействующих материальных тел.
- Атомное ядро представляет собой стабильно ориентированную в пространстве структуру: скорость движения нуклонов в ядре гелия примерно составляет 10^{-28} см/сек , а частота вращения — один оборот за $3 \cdot 10^8$ лет.
- Вязкоупругопластическая модель разрушения тел позволяет построить потенциальные характеристики прочности, объясняющие всё многообразие свойств ядерной материи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В любой теории более всего ценится простота и общность, т.е. способность охватить на первый взгляд очень разрозненные явления и показать их тесную связь, либо объединить разные аспекты одной и той же проблемы. По этой причине мы сознательно старались охватить широту объекта, а не исследовать его глубину в каком-либо конкретном инженерном приложении. Последнее предполагается сделать на следующих этапах с привлечением специалистов, разделяющих изложенную здесь точку зрения на объединенную инженерно-прикладную физику.

В недавнем прошлом замечательный физик и нобелевский лауреат Р. Фейнман писал [10]: «Сегодня наши физические теории, законы физики — множество разрозненных частей и обрывков, плохо сочетающихся друг с другом. Физика ещё не превратилась в единую конструкцию, где каждая деталь — на своём месте. Пока что мы имеем множество деталей, которые трудно подогнать друг к другу». Далее он призывает: «Нам нужно найти новую точку зрения на мир, которая должна согласоваться со всем, что уже известно, по кое в чём расходиться с нашими установившимися представлениями, иначе это будет не интересно». Изложенная здесь концепция, как мы полагаем, в достаточно полной мере отвечает такой постановке задачи.

Она решает проблему унификации физических взаимодействий в рамках классических представлений, т.е. в наибольшей мере удовлетворяя принципу простоты; вносит коренные изменения в релятивистскую теорию движения и пространства-времени; делает предельно понятным и внутренне согласованным учение о теплоте; обнаруживает общую физическую природу тяготения и ядерных сил, одновременно снимая с повестки дня надоеvшие проблемы космологических сингулярностей, «чёрных дыр» и гравитационных волн; обогащает наши представления о природе электрических токов и физическом содержании уравнений Максвелла, Шредингера и Дирака, математической функции комплексной переменной; упраздняет одно из новейших и дорогостоящих направлений в виртуальной физике — проблему элементарных частиц или физику высоких энергий. Этот далеко не полный перечень говорит сам за себя при оценке возможности и эффективности предлагаемой физической концепции, важности и целесообразности её дальнейшей

более широкой и глубокой проработки.

Главное же состоит в другом. Изложенная концепция освобождает физическую науку от разрушительных последствий виртуальной революции прошлого века, поставившей во главу угла математический формализм и гипотезу и подменившей тем самым процесс вдумчивого и терпеливого изучения Природы субъективным изобретательством, а подчас и примитивным сочинительством её. Продемонстрированная здесь возможность формулировки фундаментальных законов природы на базе одного-единственного уравнения возвращает, наконец, математике её классическую функцию «языка, на котором написана книга Природы», одновременно решительным образом лишая претензий на фундаментальную роль в процессе её познания. Становятся невостребованными даже традиционные для классической физики статистические методы математического исследования, поскольку законы микро- и макромира оказываются абсолютно универсальными.

Необходимость смены господствующей парадигмы всегда сопряжена с определёнными трудностями и издержками. В данном случае речь в какой-то мере идёт о возвращении в «скучный мир частиц, управляемых законами ньютонаовской механики» (С. Вайнберг) и следует ожидать отсутствие профессионального интереса к новой концепции со стороны математиков. Полагаем однако, что в этом заключена и некая гарантия самосохранения неоклассической физики от губительного формализма на будущее. Уместно в связи с этим ещё раз вспомнить А. Эйнштейна, который был вынужден с горькой ironией посетовать: «С тех пор, как за теорию относительности принялись математики, я её уже сам больше не понимаю».

Ни одна физическая теория не может претендовать на абсолютную полноту и достоверность описания картины неживой природы. Всегда существуют границы применимости теории, которые выявляются при сопоставлении её результатов с данными эксперимента и уточняются по мере появления новых данных. Сказанное, разумеется, относится и к предлагаемой теории. Автор надеется, что эти границы окажутся достаточно широки, а недостатки теории не столь велики, чтобы ещё раз подтвердила знаменитая сентенция Роберта Кирхгофа: «Нет ничего более практического, чем хорошая теория».

ЛИТЕРАТУРА

1. Дирак П. А. М. К созданию квантовой теории поля. – М.: Наука, 1990, с. 245 – 254, 218.
2. Пайс А. Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. – М.: Наука, 1989, с. 281.
3. Журнал Успехи физических наук, 1999, №3, с.359.
4. Н. Н. Латыпов, В. А. Бейлин, Г. М. Верешков. Вакуум, элементарные частицы и Вселенная. – М.: Изд-во МГУ, 2001, с. 116, 184, 198.
5. Эйнштейн А. О специальной и общей теории относительности (общедоступное изложение). В сборнике статей «Физика и реальность», М., «Наука», 1965, с. 167 – 235.
6. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике, т. 6. Электродинамика. – М.: «Мир», 1977, с. 305 – 307, 321. Изд.3.УРСС,2004.
7. Матвеев А.Н. Атомная физика. – М.: «Высшая школа», 1989, с. 85, 398, 428, 434.
8. Матвеев А.Н.. Механика и теория относительности. – М.: Высшая школа, 1976, с. 129, 229, 354.
9. Голин Г. М., Филонович С. Р. Классики физической науки. – М., Высшая школа, 1989, с.57, 64.
- 10.Фейнман Р. Характер физических законов. – М.: Наука, 1987, с. 117, 27, 157.
- 11.Клайн Б. В поисках. Физики и квантовая теория. – М.: Атомиздат, 1971, с. 110.
- 12.Полак Л. С. Максвелл и развитие физики XIX–XX веков. – М.: Наука, 1985, с. 69.
- 13.Смирнов Г. В. Рождённые вихрем. – М.: Знание, 1982, с. 127.
- 14.Сивухин Д.В. Общий курс физики, т. 1, Механика. – М.: Наука, 1989, с. 374, 331, 351.
- 15.Яворский Б. М., Пинский А. А. Основы физики, т. 1. М.: Физматлит, 2000, с. 239.
- 16.Бронштейн И.Н., Семенджев К.А.. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Физматиздат, 1962, с. 495, 528.
- 17.Шмутцер Э. Теория относительности. Современное представление. – М.: Мир, 1981, с. 124, 81, 206 – 207.
- 18.Беккер М.Г. Введение в теорию систем местность-машина. – М.: Машиностроение, 1973, с. 82 – 83.
- 19.Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968, с. 270.
- 20.Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. – М.: Высшая школа, 1978, с. 279–281.
- 21.Агафонов К. П. Взаимодействие ходового аппарата трактора и рабочих

- органов машин с грунтом. – Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1980, №10, с. 28 - 31.
22. Агафонов К. П. Оптимизация удельной мощности трактора по тяговому КПД. – Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1981, №1, с. 36 - 38.
23. Агафонов К. П. Рабочая скорость и энергетика машинно-тракторного агрегата. – Тракторы и сельхозмашины, 1979, №5, с. 12 - 15.
24. Агафонов К. П. Удельная тяга трактора с учётом вязких свойств грунта. – Тракторы и сельхозмашины, 1979, №9, с. 7 - 9.
25. Эйнштейн А. Собрание научных трудов, т. 4. – М.: Наука, 1967, с. 280, 185 – 186.
26. Эйнштейн А. Собрание научных трудов, т. 1. – М.: Наука, 1965, с. 425.
27. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. – М.: Наука, 1988, с. 404.
28. Тоннела М.А. Основы электромагнетизма и теории относительности. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1962, с. 352 – 360.
29. Потапов Ю. С., Фоминский Л. П. Вихревая энергетика и холодный ядерный синтез с позиций теории движения. – Кишинёв-Черкассы, 2000, с. 68, 173, 359.
30. Дж. Орир. Физика, т.1. – М.: «Мир», 1981, с. 187–229.
31. В. М. Бродянский. Вечный двигатель – прежде и теперь. – М.: Энергоатомиздат, 1989, с.113–119.
32. А. Н. Матвеев. Молекулярная физика. – М.: «Высшая школа», 1981, с. 17.
33. В. В. Мурзаков. Основы технической термодинамики. – М.: «Энергия», с. 17, 67, 82, 71–73.
34. Б. М. Яворский и А. А. Детлаф. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. – М.: Наука, 1974, с. 157, 237.
35. Д. Рей, Д. Макмайка. Тепловые насосы. – М.: Энергоатомиздат, 1982.
36. Г. Лихошерстных. В поисках энергии. – Журнал «Техника – молодёжи», 1988, №11, с. 26–29.
37. Физический энциклопедический словарь. – М.: «Советская энциклопедия», с. 154.
38. Бор Н. Избранные научные труды, т. 2. – М.: Наука, 1971, с. 406, 556.
39. Эйнштейн А. Собрание научных трудов, т. 3. – М., 1966, с. 626.
40. Глешоу Ш.А. Очарование физики. – М.: РХД, 2002, с. 194, 297.

Представляем Вам наши лучшие книги:



URSS

Серия «Relata Refero»

Бабанин А. Ф. Введение в общую теорию мироздания. Кн. 1, 2.

Зверев Г. Я. Физика без механики Ньютона, без теории Эйнштейна и без принципа наименьшего действия.

Кириллов А. И., Пятницкая Н. Н. Квант-силовая физика. Гипотеза.

Еремин М. А. Революционный метод в исследовании функций действ. переменной.

Еремин М. А. Определитель Еремина в линейной и нелинейной алгебре.

Низовцев В. В. Время и место физики XX века.

Стельмахович Е. М. Пространственная (топологическая) структура материи.

Плохотников К. Э. и др. Основы психорезонансной электронной технологии.

Азюковский В. А. Физические основы электромагнетизма и электромагнитных явлений.

Кецарис А. А. Алгебраические основы физики.

Брусин Л. Д., Брусин С. Д. Иллюзия Эйнштейна и реальность Ньютона.

Долгушин М. Д. Эвристические методы квантовой химии или о смысле научных занятий.

Терлецкий Н. А. О пользе и вреде излучения для жизни.

Харченко К. П., Сухарев В. Н. «Электромагнитная волна», лучистая энергия — поток реальных фотонов.

Бернштейн В. М. Перспективы «возрождения» и развития электродинамики и теории гравитации Вебера.

Николаев О. С. Водород и атом водорода. Справочник физических параметров.

Николаев О. С. Кратическое состояние металлов.

Николаев О. С. Механические свойства жидких металлов.

Шевелев А. К. Структура ядра.

Михеев С. В. Темная энергия и темная материя — проявление нулевых колебаний электромагнитного поля.

Галавкин В. В. Дорогой Декарт, или физика глазами системотехника.

Галавкин В. В. Аристотель против Ньютона, или экономика глазами системотехника.

Федосин С. Г. Современные проблемы физики. В поисках новых принципов.

Федосин С. Г. Основы синкретики. Философия носителей.

Иванов М. Г. Антигравитационные двигатели «легающих тарелок». Теория гравитации.

Смоляков Э. Р. Теоретическое обоснование межзвездных полетов.

Ильин В. Н. Термодинамика и социология.

Хохлов Ю. Н. О нас и нашем мире.

Письмак В. П. Начала отрицания экономики.

Наши книги можно приобрести в магазинах:

«Библио-Глобус» (м. Лубянка, ул. Мясницкая, 6. Тел. (495) 825-2457)

«Московский дом книги» (м. Арбатская, ул. Новый Арбат, 9. Тел. (495) 203-0242)

«Молодая гвардия» (м. Полежаевская, ул. Б. Полянка, 26. Тел. (495) 238-5001, 786-8378)

«Дом научно-технической книги» (Ленинский пр-т, 48. Тел. (495) 137-5819)

«Дом книги на Ладожской» (м. Бауманская, ул. Ладожская, 8, стр. 1. Тел. 267-9302)

«Гностис» (м. Университет, 1 гум. корпус МГУ, комн. 141. Тел. (495) 939-4713)

«У Кентавра» (РГГУ) (м. Новослободская, ул. Чапаева, 15. Тел. (495) 973-4321)

«СПб. дом книги» (Невский пр., 28. Тел. (812) 311-3954)

Тел./факс:
(495) 135-42-46,
(495) 135-42-16,

E-mail:
URSS@URSS.ru
<http://URSS.ru>

Уважаемые читатели! Уважаемые авторы!

Наше издательство специализируется на выпуске научной и учебной литературы, в том числе монографий, журналов, трудов ученых Российской академии наук, научно-исследовательских институтов и учебных заведений. Мы предлагаем авторам свои услуги на выгодных экономических условиях. При этом мы берем на себя всю работу по подготовке издания — от набора, редактирования и верстки до тиражирования и распространения.



URSS

Среди вышедших и готовящихся к изданию книг мы предлагаем Вам следующие:

Серия «Relata Refero»

- Петров Ю. И.** Некоторые фундаментальные представления физики: критика и анализ.
Шадрин А. А. Структура мироздания Вселенной.
Колесников А. А. Гравитация и самоорганизация.
Костицын В. И. Теория многомерных пространств.
Сайбер А. Н. Основные постулаты (принципы) или начала энергетической теории.
Демин А. И. Парадигма дуализма: пространство — время, информация — энергия.
Бухалов И. П. Инерция и гравитация. В поисках решения проблемы.
Артеха С. Н. Критика основ теории относительности.
Попов Н. А. Сущность времени и относительности.
Моисеев Б. М. Теория относительности и физическая природа света.
Сметана А. И., Сметана С. А. Новый взгляд на природу сил взаимодействия.
Блинов В. Ф. Физика материи.
Блинов В. Ф. Растущая Земля: из планет в звезды.
Пименов Р. И. Основы теории темпорального универсума.
Калинин Л. А. Кардинальные ошибки Эйнштейна.
Барыкин В. Н. Электродинамика Максвелла без относительности Эйнштейна.
Барыкин В. Н. Лекции по электродинамике и ТО без ограничения скорости.
Михайлов В. Н. Закон всемирного тяготения.
Федулаев Л. Е. Физическая форма гравитации: Диалектика природы.
Янчилик В. Л. Квантовая теория гравитации.
Янчилик В. Л. Неопределенность, гравитация, космос.
Халезов Ю. В. Планеты и эволюция звезд.
Штепа В. И. Единая теория Поля и Вещества с точки зрения Логики.
Миркин В. И. Краткий курс идеалистической физики.
Пилат Б. В. Излучение и поле.
Заказчиков А. И. Загадка эфирного ветра: фундаментальные вопросы физики.
Бураго С. Г. Роль эфиродинамики в познании мира.
Бураго С. Г. Круговорот эфира во Вселенной.
Исаев С. М. Начала теории физики эфира и ее следствия.
Бирюков С. М. Эфир как структура мироздания.
Левин М. А. Специальная теория относительности. Эфирный подход.
Томсон Дж., Планк М. и др. Эфир и материя.

По всем вопросам Вы можете обратиться к нам:
 тел./факс (495) 135–42–16, 135–42–46
 или электронной почтой URSS@URSS.ru
 Полный каталог изданий представлен
 в Интернет-магазине: <http://URSS.ru>

Научная и учебная
литература

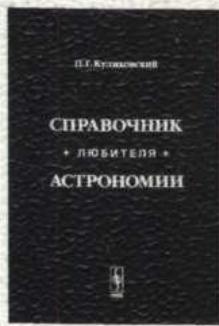
Об авторе

Константин Павлович АГАФОНОВ



Инженер высшей квалификации, богатого практического опыта и глубоких, разносторонних знаний. Родился в Москве в 1934 г. Окончил Московский автомеханический (1957) и Московский энергетический (1966) институты, приобретя в них квалификации инженера-механика и инженера-электрика соответственно. Длительное время работал конструктором в космической (фирма В. П. Бармина) и авиационной (фирмы А. Н. Туполева и В. М. Мясищева) отраслях, а затем с середины 1970-х гг. переключился на поисковые разработки в отрасли тракторного и сельскохозяйственного машиностроения (НПО «НАТИ»). С этого момента начинается его серьезная научная деятельность, сопровождаемая периодическими публикациями работ (свыше 10) в отраслевых журналах и закончившаяся разработкой стройной теории трения и ее приложений. С 1985 г. работает в Российском патентном ведомстве, в должности патентного эксперта отдела энергетики Федерального института промышленной собственности. Автор пяти книг по физике, объединенных в предлагаемую здесь современную неоклассическую концепцию.

Наши издательства предлагает следующие книги:



4963 ID 53814

НАУЧНАЯ И УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА



Тел./факс: 7 (495)

Тел./факс: 7 (495)

Любые отзывы о настоящем издании, а также об

по адресу URSS@URSS.ru. Ваши замечания

и отражены на web-странице этой книги в нашем интернет-магазине <http://URSS.ru>

интернет-магазин

OZON.ru



6S.ru

ний

6S.ru

15593554