

# Картина мира современной физики

## Классическая физика и теория относительности

Первой фундаментальной физической теорией, которая имеет высокий статус и в современной физике, является классическая механика, основы которой заложил И. Ньютон.

Законы механики, сформулированные Ньютоном, не являются прямым следствием эмпирических фактов. Они появились как результат обобщения многочисленных наблюдений, опытов и теоретических исследований Галилея, Гюйгенса, Ньютона и др. в широком мировоззренческом, культурном контексте.

"Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние" - так Ньютон сформулировал закон, который сейчас называется первым законом механики Ньютона, или законом инерции.

Система отсчета, в которой справедлив закон инерции: материальная точка, когда на нее не действуют никакие силы (или действуют силы взаимно уравновешенные), находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения - называется инерциальной.

Всякая система отсчета, движущаяся по отношению к ней поступательно, равномерно и прямолинейно, есть также инерциальная.

"Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует" - это второй закон Ньютона, который является основным законом динамики, в формулировке Ньютона (1687).

"Действию всегда есть равное и противоположное противодействие, иначе,

взаимодействия двух тел друг на друга между собой равны и направлены в противоположные стороны" - это третий закон механики Ньютона.

Законы Ньютона справедливы только для инерциальных систем. Однако ни одно реальное тело не может с идеальной точностью выполнять функцию такой системы, поскольку в реальности всегда присутствуют силы, нарушающие закон инерции и другие законы механики. По-видимому, это и привело Ньютона к понятию абсолютного пространства, для которого закон инерции и все другие законы механики имели бы абсолютную силу.

Ньютон писал: "Абсолютное пространство в силу своей природы, безотносительно к чему-нибудь внешнему, остается всегда одинаковым и неподвижным. Относительное пространство представляет собой некоторое подвижное измерение или меру абсолютных пространств; его мы определяем с помощью своих чувств через взаимное расположение тел, его вульгарно и истолковывают как неподвижное пространство..."

"Абсолютное истинное или математическое время, - писал Ньютон, - само по себе и в силу своей внутренней природы течет одинаково, безотносительно к чему-либо внешнему и иначе зовется длительностью; относительное, кажущееся или обычное время представляет собой некоторого рода чувственную, или внешнюю (каким бы оно ни было точным и несравнимым), меру длительности, определяемую с помощью движения, которое обычно используется вместо истинного времени; это - часы, день, месяц, год..."

У Ньютона абсолютное время существует и длится равномерно само по себе, безотносительно к каким-либо событиям. Абсолютное время и абсолютное пространство

представляют собой как бы вместилища материальных тел и процессов и не зависят не только от этих тел и процессов, но и друг от друга.

Сформулировав основные законы механики, Ньютон заложил фундамент физической теории. Однако построить на этом фундаменте стройное здание теории предстояло его последователям. Решающую роль для становления классической механики имело использование дифференциального и интегрального исчисления, аппарата математического анализа.

В течение всего 18 века создается математический аппарат классической механики на базе дифференциального и интегрального исчисления. Разработку аналитических методов механики завершил Лагранж, получивший уравнения движения системы в обобщенных координатах, названные его именем.

С этой деятельностью по созданию математического аппарата механики связано ее становление как первой фундаментальной научной теории.

Важную роль в создании научной картины мира сыграл принцип относительности Галилея - принцип равноправия всех инерциальных систем отсчета в классической механике, который утверждает, что никакими механическими опытами, проводящимися в какой-то инерциальной системе отсчета, нельзя определить, покоится данная система или движется равномерно и прямолинейно. Это положение было впервые установлено Галилеем в 1636.

Математически принцип относительности Галилея выражает инвариантность уравнений механики относительно преобразований координат движущихся точек (и времени) при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой - преобразований Галилея.

С именем Ньютона связано открытие и такого фундаментального физического закона,

как закон всемирного тяготения .

Первые высказывания о тяготении как всеобщем свойстве тел относятся к античности.

И. Кеплер говорил, что "тяжесть есть взаимное стремление всех тел". Окончательная

формулировка закона всемирного тяготения была сделана Ньютоном в 1687 в его главном

труде "Математические начала натуральной философии".

Закон тяготения Ньютона гласит, что две любые материальные частицы притягиваются по направлению друг к другу с силой, прямо пропорциональной произведению масс и

обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.

Коэффициент

пропорциональности называется гравитационной постоянной.

Первоначально в физике утвердилось представление о том, что взаимодействие тел

имеет характер дальнего действия - мгновенной передачи

воздействия тел друг на друга через

пустое пространство, которое не принимает участия в передаче взаимодействия.

Однако концепция дальнего действия была признана не соответствующей

действительности после открытия и исследования

электромагнитного поля, выполняющего

роль посредника при взаимодействии электрически заряженных тел. Возникла новая

концепция взаимодействия - концепция ближнего действия,

которая затем была распространена

и на любые другие взаимодействия. Согласно этой концепции, взаимодействие между

телами осуществляется посредством тех или иных полей (например, тяготение -

посредством гравитационного поля), которые непрерывно распределены в пространстве.

В науке 19 века переносчиком электромагнитных взаимодействий считалась

всепроницающая среда - эфир.

На представления об эфире как переносчике электромагнитных взаимодействий в

прошлом веке опиралась вся электродинамика и оптика.

Первоначально эфир понимали как механическую среду, подобную упругому телу.

Соответственно распространение световых волн уподоблялось распространению звука в упругой среде. Гипотеза механического эфира встретила с большими трудностями. Так, поперечность световых волн требовала от эфира свойств абсолютно твердого тела, но в то же время полностью отсутствовало сопротивление эфира движению небесных тел. В течение долгого времени поколения математиков и физиков пытались внести свой вклад в решение проблемы эфира. В результате попыток построить модель эфира была, например, тщательнейшим образом разработана механика сплошных сред и ее аппарат, однако адекватную модель эфира построить так и не удалось. Нерешенным оставался вопрос об участии эфира в движении тел. Эфир настойчиво продолжал оставаться "выродком в среде физических субстанций".

Проблема эфира приобрела фундаментальный характер, поскольку эта среда заняла в физике чрезвычайно важное место. Оказывалось, что физика покоится на зыбких основаниях. Они и были пересмотрены в процессе создания теории относительности.

Американский физик Майкельсон в 1881 году поставил опыт для выяснения участия эфира в движении тел.

Ряд явлений (абберация света, опыт Физо) приводил к заключению, что эфир неподвижен или частично увлекается телами при их движении. Согласно гипотезе неподвижного эфира, можно наблюдать "эфирный ветер" при движении Земли сквозь эфир, и скорость света по отношению к Земле должна зависеть от направления светового луча

относительно направления ее движения в эфире. Однако этого не было обнаружено - опыт

Майкельсона дал отрицательный результат.

Опыт Майкельсона не сыграл решающей роли в создании теории относительности. Об этом говорил и сам Эйнштейн . Он использовал результаты опыта Майкельсона для обоснования уже созданной теории.

Результаты опыта Майкельсона, как и других подобных опытов, могли быть объяснены и без радикальных изменений классических представлений о пространстве и времени.

Вообще, результаты опытов допускают различные теоретические интерпретации. Глубокие мировоззренческие изменения в физике были вызваны не отдельными экспериментальными результатами, а неудовлетворительностью положения дел в электродинамике, оптике, физике вообще.

Всю совокупность результатов в области электродинамики движущихся тел в начале века можно было объяснить на базе преобразований Лоренца , которые были получены в 1904 году как преобразования, по отношению к которым уравнения классической микроскопической электродинамики сохраняют свой вид.

Лоренц и Пуанкаре интерпретировали эти преобразования как результат сжатия тел постоянным давлением эфира, т.е. динамически в рамках классических представлений о пространстве и времени.

Эйнштейн интерпретировал преобразования Лоренца кинетически , т.е. как характеризующие свойства движения в пространстве и времени, тем самым заложив основы теории относительности. Он снял проблему эфира, упразднив его, радикально изменил классические представления о пространстве и времени.

Явления, описываемые теорией относительности, называются релятивистскими (от

латинского "относительный") и проявляются при скоростях, близких к скорости света в вакууме (эти скорости тоже принято называть релятивистскими).

В соответствии с теорией относительности, существует предельная скорость передачи любых взаимодействий и сигналов из одной точки пространства в другую - это скорость света в вакууме. Существование предельной скорости означает необходимость глубокого изменения обычных пространственно-временных представлений, основанных на повседневном опыте, поскольку ведет к таким явлениям, как замедление времени, релятивистское сокращение размеров тел, относительность одновременности.

Теория тяготения Ньютона предполагает мгновенное распространение тяготения, и уже поэтому не может быть согласована со специальной теорией относительности, утверждающей, что никакое взаимодействие не может распространяться со скоростью, превышающей скорость света в вакууме.

Обобщение теории тяготения на основе специальной теории относительности было сделано Эйнштейном. Новая теория была названа им общей теорией относительности.

Самой важной особенностью поля тяготения, известной в ньютоновской теории и положенной Эйнштейном в основу общей теории относительности, является то, что тяготение совершенно одинаково действует на разные тела, сообщая им одинаковые ускорения независимо от массы, химического состава и других свойств тел. Так, на поверхности Земли все тела падают под влиянием ее поля тяготения с одинаковым

ускорением - ускорением свободного падения. Этот факт был установлен опытным путем Галилеем . Он может быть сформулирован как факт равенства инертной массы (входящей во второй закон Ньютона) и гравитационной массы (входящей в закон тяготения).

В картине мира современной физики фундаментальную роль играет принцип эквивалентности, согласно которому поле тяготения в небольшой области пространства и времени (в которой его можно считать однородным и постоянным во времени) по своему проявлению тождественно ускоренной системе отсчета.

Принцип эквивалентности следует из равенства инертной и гравитационной масс. В соответствии с этим принципом общая теория относительности трактует тяготение как искривление (отличие геометрии от евклидовой) четырехмерного пространственно-временного континуума. В любой конечной области пространство оказывается искривленным - неевклидовым. Это означает, что в трехмерном пространстве геометрия, вообще говоря, будет неевклидовой, а время в разных точках будет течь по-разному.

Ряд выводов ОТО качественно отличаются от выводов ньютоновской теории тяготения. Важнейшие среди них связаны с возникновением черных дыр, сингулярностей пространства-времени, существованием гравитационных волн (гравитационного излучения).

Квантовая механика, ее интерпретация

Квантовая механика (волновая механика) - теория, которая устанавливает способ описания и законы движения микрочастиц (элементарных частиц, атомов, молекул, атомных



ядер) и их систем, а также связь величин, характеризующих частицы и системы, с физическими величинами, непосредственно измеряемыми на опыте.

Квантовая механика описывает законы движения микрочастиц. Однако поскольку свойства макроскопических тел определяются движением и взаимодействием частиц, из которых они состоят, постольку квантовая механика применяется для объяснения многих макроскопических явлений. Например, квантовая механика позволила понять многие свойства твердых тел, последовательно объяснить такие явления, как ферромагнетизм, сверхтекучесть, сверхпроводимость, понять природу таких астрофизических объектов, как белые карлики, нейтронные звезды, выяснить механизм протекания термоядерных реакций в Солнце и звездах.

Для классической механики характерно описание частиц путем задания их положения в пространстве (координат) и скоростей и зависимости этих величин от времени. Опыт показал, что такое описание частиц не всегда справедливо, в частности, оно не применимо для описания микрочастиц.

Квантовая механика делится на нерелятивистскую, справедливую в случае малых скоростей, и релятивистскую, удовлетворяющую требованиям специальной теории относительности.

Нерелятивистская квантовая механика (как и механика Ньютона для своей области применимости) - это законченная и логически непротиворечивая фундаментальная физическая теория.

Релятивистская квантовая механика не является в такой степени завершенной и свободной от противоречий теорией.

Если в нерелятивистской области можно считать, что взаимодействие передается

мгновенно на расстоянии, то в релятивистской области оно распространяется с конечной скоростью, значит, должен существовать агент, передающий взаимодействие - физическое поле. Трудности релятивистской теории - это трудности теории поля, с которыми встречается как релятивистская классическая механика, так и релятивистская квантовая механика.

Соотношение между классической и квантовой механикой определяется существованием универсальной мировой постоянной - постоянной Планка, которая называется также квантом действия и имеет размерность действия. Если в условиях данной задачи физические величины размерности действия значительно больше постоянной Планка, то применима классическая механика. Формально это условие и является критерием применимости классической механики.

Общая теория относительности - неквантовая теория. В этом отношении она подобна классической электродинамике Максвелла. Однако наиболее общие рассуждения показывают, что гравитационное поле должно подчиняться квантовым законам точно так же, как и электромагнитное поле. Применение квантовой теории к гравитации показывает, что гравитационные волны можно рассматривать как поток квантов - гравитонов.

Впервые квантовые представления были введены в 1900 году немецким физиком Планком в работе, посвященной теории теплового излучения. Существовавшая в то время теория теплового излучения, построенная на основе классической электродинамики и статистической физики, приводила в противоречию. Чтобы его разрешить, Планк предположил, что свет испускается не непрерывно (как это следовало из классической теории излучения), а определенными дискретными порциями энергии - квантами.

Эйнштейн в 1905 году построил теорию фотоэффекта, развивая квантовые представления Планка. Эйнштейн предположил, что свет не только испускается и поглощается, но и распространяется квантами, т.е. что дискретность присуща не только процессам испускания и поглощения света, но и самому свету, что свет состоит из отдельных порций - световых квантов.

Квант света, а более широко - электромагнитного излучения, называется фотоном . Этот термин ввел американский физико-химик Льюис в 1929 году.

Для создания современной картины мира важным событием оказалось то, что в 1922 году американский физик Комптон открыл эффект, в котором впервые во всей полноте проявились корпускулярные свойства электромагнитного излучения (в частности, света). Экспериментально было показано, что рассеяние света свободными электронами происходит по законам упругого столкновения двух частиц.

Эффект Комптона выявил корпускулярные свойства света. Было экспериментально доказано, что наряду с известными волновыми свойствами (проявляющимися, например, в дифракции) свет обладает и корпускулярными свойствами: он состоит как бы из частиц. В этом проявляется дуализм света, его корпускулярно-волновая природа.

Возникло формальное логическое противоречие: для объяснения одних явлений надо было считать, что свет имеет волновую природу, для объяснения других - корпускулярную. Разрешение этого противоречия и привело к созданию физических основ квантовой механики.

В 1913 году Бор применил идею квантов к планетарной модели атома. Эта модель на основе классических представлений приводила к парадоксу - радиус орбиты электрона должен был постоянно уменьшаться из-за излучения и электрон должен был упасть на ядро. Для объяснения устойчивости атомов Бор предположил, что электрон испускает световые волны не постоянно, а лишь при переходе с одной орбиты, удовлетворяющей условиям квантования, на другую рождается квант света.

В 1924 году французский физик Луи де Бройль, пытаясь найти объяснение постулированным в 1913 году Бором условиям квантования атомных орбит, выдвинул гипотезу о всеобщности корпускулярно-волнового дуализма. Согласно этой гипотезе, каждой частице, независимо от ее природы, надо поставить в соответствие волну, длина которой связана с импульсом частицы.

Т.е. не только фотоны, но и все "обыкновенные частицы" (электроны, протоны и др.) обладают волновыми свойствами, которые, в частности, должны проявляться в дифракции частиц.

В 1927 году в эксперименте наблюдалась дифракция электронов, а позднее -

дифракция и других частиц, тем самым справедливость гипотезы де Бройля была подтверждена экспериментально.

В 1926 году австрийский физик Шредингер предложил уравнение, описывающих поведение волн, соответствующих каждой частице (волн де Бройля), во внешних силовых полях. Это волновое уравнение, которое получило название уравнение Шредингера, является основным уравнением нерелятивистской квантовой механики, волновой механики.

В 1928 году Дираком было сформулировано релятивистское уравнение, описывающее движение электрона во внешнем силовом поле. Уравнение Дирака стало одним из основных уравнений релятивистской квантовой механики.

Применение Бором квантовых идей к теории строения атома привело к построению "полуклассической" теории, которая встретила со многими трудностями.

Модель атома Бора была построена за счет нарушения логической цельности теории: с одной стороны, использовалась Ньютонова механика, с другой - привлекались чуждые ей искусственные правила квантования, к тому же противоречащие классической электродинамике. Теория Бора не могла объяснить, как движется электрон при переходе с одного уровня на другой.

Дальнейшая разработка вопросов теории атома привела к выводу, что движение электронов в атоме нельзя описывать в терминах классической механики (как движение по определенной траектории, орбите), что вопрос о движении электрона между уровнями несовместим с характером законов, определяющих поведение электрона в атоме. Стало ясно, что для построения модели атома необходима принципиально новая теория, которая для

описания поведения электрона в атоме не оперирует понятиями ньютоновской механики. В новую теорию могли входить только величины, относящиеся к начальному и конечному стационарным состояниям атома.

Немецкий физик В. Гейзенберг в 1925 году построил формальную схему, в которой вместо координат и скоростей электрона фигурировали некоторые абстрактные абстрактные величины - матрицы .

Работа Гейзенберга была развита Борном и Иорданом . Так возникла матричная механика .

Вскоре после появления уравнения Шредингера эквивалентность этих двух форм была доказана.

Окончательное формирование квантовой механики как последовательной теории связано с работой Гейзенберга 1927 года, в которой был сформулирован принцип, утверждающий, что любая физическая система не может находиться в состояниях, в которых координаты ее центра инерции и импульс одновременно принимают вполне определенные, точные значения. Этот принцип получил название "соотношение неопределенностей" .

Соотношение неопределенностей устанавливает, что понятия координаты и импульса в классическом смысле не могут быть применены к микроскопическим объектам. Никакой эксперимент не может привести к одновременно точному измерению входящих в соотношение неопределенностей динамических переменных. При этом неопределенность в измерениях связана не с несовершенством измерительной техники, а с объективными свойствами микромира.

Завершение построения аппарата квантовой механики породило острые дискуссии в

отношении интерпретации этой теории, поскольку она существенно отличается от классических теорий.

Важное отличие состоит в том, что в классических теориях описываются свойства объектов вне их отношения к тем приборам, с помощью которых обнаруживаются эти свойства, в то время как в квантовой механике учет условий наблюдения неотъемлем от самой теоретической постановки проблемы (при этом в различных макроскопических ситуациях микроявления обнаруживают различные, порой прямо противоположные свойства, например, частицы или волны).

Другим существенным отличием квантовой механики от классической, вызвавшим острые дискуссии, является ее принципиально вероятностный характер.

Умонастроение, характерное для классической науки, отражено в высказывании Лапласа о том, что если бы существовал ум, осведомленный в данный момент о всех силах природы в точках приложения этих сил, то "не осталось бы ничего, что было бы для него недостоверно, и будущее, так же как и прошедшее, предстало бы перед его взором".

Это умонастроение классической науки, четко выраженное Лапласом в его работе "Опыт философии теории вероятностей" (1814 год), часто и связывается с его именем, называется лапласовским детерминизмом. Безусловно, что это умонастроение не исчерпывается приведенным высказыванием Лапласа о всеведущем разуме. Оно представляет собой тонкую и глубокую систему и представлений о реальности и способах ее познания.

С позиций лапласовского детерминизма ньютоновская механика с ее однозначными законами является каноном, идеалом научного знания вообще, всякой научной теории.

Любая теория с этой точки зрения должна исчерпывающим образом описывать свойства реальности на базе строго однозначных законов, как это делает механика.

Активное применение теории вероятностей в физике, которое началось с середины 19 века, привело к появлению нового типа законов и теорий - статистических .

Важно подчеркнуть, что использование вероятностно-статистических методов в науке не противоречит концепции лапласовского детерминизма. На эмпирическом уровне объекты даны в единстве существенных и несущественных, случайных свойств, поэтому использование вероятностных представлений вполне обосновано. На теоретическом уровне использование вероятностей предполагало однозначную детерминированность тех индивидуальных явлений, которые в совокупности дают статистический закон.

С позиций лапласовского детерминизма, использование вероятностных представлений в науке вполне оправдано, но познавательный статус динамических и статистических теорий существенно различен. Статистические теории с этих позиций - это неподлинны теории; они могут быть практически очень полезны, но в познавательном плане они неполноценны, они дают лишь первое приближение к истине, и за каждой статистической теорией должна стоять теория, однозначно описывающая реальность.

Одна из интерпретаций квантовой механики была построена с позиций лапласовского детерминизма.

Фактически такую интерпретацию развивали Эйнштейн , Планк , Шредингер и их сторонники, когда утверждали, что принципиально вероятностный характер квантовой механики говорит о ее неполноте как физической теории. Они ориентировали физиков на



поиск такой теории микроявлений, которая по своей структуре и характеру законов была бы подобна классической механике или классической электродинамике. В этом русле строилась программа элиминации вероятностных представлений из теории микромира путем обнаружения "скрытых параметров", т.е. таких свойств элементарных частиц, знание которых позволило бы достичь их строго однозначного описания.

Против такой интерпретации квантовой механики выступили Борн , Бриллюэн и другие, кто видел в квантовой механике полноценную и полноправную физическую теорию.

Хотя дискуссии в отношении статуса вероятностных представлений в современной физике не закончены до сих пор, тем не менее развитие квантовой механики ослабляет позиции сторонников лапласовского детерминизма.

## Элементарные частицы

Элементарные частицы, в точном значении этого термина, - это первичные, далее неразложимые частицы, из которых, по предположению, состоит вся материя.

Элементарные частицы современной физики не удовлетворяют строгому определению элементарности, поскольку большинство из них по современным представлениям являются составными системами. Общее свойство этих систем заключается в том. Что они не являются атомами или ядрами (исключение составляет протон ). Поэтому иногда их называют субъядерными частицами.

Частицы, претендующие на роль первичных элементов материи, иногда называют "истинно элементарные частицы".

Первой открытой элементарной частицей был электрон . Его открыл английский физик Томсон в 1897 году.

Первой открытой античастицей был позитрон - частица с массой электрона, но положительным электрическим зарядом. Это античастица была обнаружена в составе космических лучей американским физиком Андерсоном в 1932 году.

В современной физике в группу элементарных относятся более 350 частиц, в основном нестабильных, и их число продолжает расти.

Если раньше элементарные частицы обычно обнаруживали в космических лучах, то с начала 50-х годов ускорители превратились в основной инструмент для исследования элементарных частиц.

Микроскопические массы и размеры элементарных частиц обуславливают квантовую специфику их поведения: квантовые закономерности являются определяющими в поведении элементарных частиц.

Наиболее важное квантовое свойство всех элементарных частиц - это способность рождаться и уничтожаться (испускаться и поглощаться) при взаимодействии с другими частицами. Все процессы с элементарными частицами протекают через последовательность актов их поглощения и испускания.

Различные процессы с элементарными частицами заметно отличаются по интенсивности протекания.

В соответствии с различной интенсивностью протекания взаимодействия элементарных частиц феноменологически делят на несколько классов: сильное, электромагнитное и слабое. Кроме того, все элементарные частицы обладают гравитационным взаимодействием.

Сильное взаимодействие элементарных частиц вызывает процессы, протекающие с наибольшей по сравнению с другими процессами интенсивностью и приводит к самой сильной связи элементарных частиц. Именно оно обуславливает связь протонов и нейтронов в ядрах атомов.

Электромагнитное взаимодействие отличается от других участием электромагнитного поля. Электромагнитное поле (в квантовой физике - фотон ) либо излучается, либо поглощается при взаимодействии, либо переносит взаимодействие между телами.

Электромагнитное взаимодействие обеспечивает связь ядер и электронов в атомах и молекулах вещества, и тем самым определяет (на основе законов квантовой механики) возможность устойчивого состояния таких микросистем.

Слабое взаимодействие элементарных частиц вызывает очень медленно протекающие процессы с элементарными частицами, в том числе распады квазистабильных частиц.

Слабое взаимодействие гораздо слабее не только сильного, но и электромагнитного взаимодействия, но гораздо сильнее гравитационного.

Гравитационное взаимодействие элементарных частиц является наиболее слабым из всех известных. Гравитационное взаимодействие на характерных для элементарных частиц расстояниях дает чрезвычайно малые эффекты из-за малости масс элементарных частиц.

Слабое взаимодействие гораздо сильнее гравитационного, но в повседневной жизни роль гравитационного взаимодействия гораздо заметнее роли слабого взаимодействия. Это происходит потому, что гравитационное взаимодействие (как, впрочем, и электромагнитное)

имеет бесконечно большой радиус действия. Поэтому, например, на тела, находящиеся на поверхности Земли, действует гравитационное притяжение со стороны всех атомов, из которых состоит Земля. Слабое же взаимодействие обладает настолько малым радиусом действия, что он до сих пор не измерен.

В современной физике фундаментальную роль играет релятивистская квантовая теория физических систем с бесконечным числом степеней свободы - квантовая теория поля. Эта теория построена для описания одного из самых общих свойств микромира - универсальной взаимной превращаемости элементарных частиц. Для описания такого рода процессов требовался переход к квантовому волновому полю. Квантовая теория поля с необходимостью является релятивистской, поскольку если система состоит из медленно движущихся частиц, то их энергия может оказаться недостаточной для образования новых частиц с ненулевой массой покоя. Частицы же с нулевой массой покоя (фотон, возможно нейтрино) всегда релятивистские, т.е. всегда движутся со скоростью света.

Универсальный способ ведения всех взаимодействий, основанный на калибровочной симметрии, дает возможность их объединения.

Квантовая теория поля оказалась наиболее адекватным аппаратом для понимания природы взаимодействия элементарных частиц и объединения всех видов взаимодействий.

Квантовая электродинамика - та часть квантовой теории поля, в которой рассматривается взаимодействие электромагнитного поля и заряженных частиц (или электронно-позитронного поля).

В настоящее время квантовая электродинамика рассматривается как составная часть единой теории слабого и электромагнитного взаимодействий.

В зависимости от участия в тех или иных видах взаимодействия все изученные

элементарные частицы, за исключением фотона, разбиваются на две основные группы - адроны и лептоны .

Адроны (от греч. "большой, сильный") - класс элементарных частиц, участвующих в сильном взаимодействии (наряду с электромагнитным и слабым). Лептоны (от греч. "тонкий, легкий") - класс элементарных частиц, не обладающих сильным взаимодействием, участвующих только в электромагнитном и слабом взаимодействии. (Наличие гравитационного взаимодействия у всех элементарных частиц, включая фотон, подразумевается).

Законченная теория адронов, сильного взаимодействия между ними пока отсутствует, однако имеется теория, которая, не являясь ни законченной, ни общепризнанной, позволяет объяснить их основные свойства. Эта теория - квантовая хромодинамика, согласно которой адроны состоят из кварков, а силы между кварками обусловлены обменом глюонами . Все обнаруженные адроны состоят из кварков пяти различных типов ("ароматов "). Кварк каждого "аромата" может находиться в трех "цветовых" состояниях, или обладать тремя различными "цветовыми зарядами".

Если законы, устанавливающие соотношение между величинами, характеризующими физическую систему, или определяющие изменение этих величин со временем, не меняются при определенных преобразованиях, которым может быть подвергнута система, то говорят, что эти законы обладают симметрией (или инвариантны ) относительно данных преобразований. В математическом отношении преобразования симметрии составляют группу.

В современной теории элементарных частиц концепция симметрии законов относительно некоторых преобразований является ведущей. Симметрия рассматривается как фактор, определяющий существование различных групп и семейств элементарных частиц.

Сильное взаимодействие симметрично относительно поворотов в особом "изотопическом пространстве". С математической точки зрения изотопическая симметрия отвечает преобразованиям группы унитарной симметрии  $SU(2)$ . Изотопическая симметрия не является точной симметрией природы, т.к. она нарушается электромагнитным взаимодействием и различием в массах кварков.

Изотопическая симметрия представляет собой часть более широкой приближенной симметрии сильного взаимодействия - унитарной  $SU(3)$ -симметрии. Унитарная симметрия оказывается значительно более нарушенной, чем изотопическая. Однако высказывается предположение, что эти симметрии, которые оказываются очень сильно нарушенными при достигнутых энергиях, будут восстанавливаться при энергиях, отвечающих так называемому "великому объединению".

Для класса внутренних симметрий уравнений теории поля (т.е. симметрий, связанных со свойствами элементарных частиц, а не со свойствами пространства-времени), применяется общее название - калибровочная симметрия.

Калибровочная симметрия приводит к необходимости существования векторных калибровочных полей, обмен квантами которых обуславливает взаимодействия частиц.

Идея калибровочной симметрии оказалась наиболее плодотворной в единой теории слабого и электромагнитного взаимодействий.

Интересной проблемой квантовой теории поля является включение в единую калибровочную схему и сильного взаимодействия ("великое объединение").

Другим перспективным направлением объединения считается суперкалибровочная симметрия, или просто суперсимметрия .

В 60-х годах американскими физиками С. Вайнбергом ,Ш. Глэшоу , пакистанским физиком А. Саламом и др. была создана единая теория слабого и электромагнитного взаимодействий, позднее получившая название стандартной теории электрослабого взаимодействия . В этой теории наряду с фотоном, осуществляющим электромагнитное взаимодействие, появляются промежуточные векторные бозоны - частицы, переносящие слабое взаимодействие. Эти частицы были экспериментально обнаружены в 1983 году в CERN 'е.

Открытие на опыте промежуточных векторных бозонов подтверждает правильность основной (калибровочной) идеи стандартной теории электрослабого взаимодействия.

Однако для проверки теории в полном объеме необходимо также экспериментально исследовать механизм спонтанного нарушения симметрии. Если этот механизм действительно осуществляется в природе, то должны существовать элементарные скалярные бозоны - так называемые хиггсовы бозоны . Стандартная теория электрослабого взаимодействия предсказывает существование, как минимум, одного скалярного бозона.

Механизм спонтанного нарушения симметрии, который встречается в разнообразных физических ситуациях, получил широкое распространение в квантовой теории поля. Было показано, что в калибровочных теориях этот механизм может приводить к появлению конечной массы у безмассовых калибровочных частиц (т.н. эффект Хиггса ).

В моделях "Великого объединения" группа симметрии электрослабого взаимодействия и группа симметрии сильного взаимодействия являются подгруппами единой группы, характеризующейся единой константой калибровочного взаимодействия.

В основе "Великого объединения" - тот факт, что при переходе к малым расстояниям (т.е. к высоким энергиям) увеличивается константа электрослабого взаимодействия и уменьшается константа сильного взаимодействия. Экстраполяция такой тенденции на сверхвысокие энергии приводит к равенству констант всех трех взаимодействий при некотором энергетическом масштабе, при котором происходит спонтанное нарушение симметрии "Великого объединения", приводящее к возникновению масс у частиц, описывающих смешанные калибровочные поля.

В разных моделях "Великого объединения" предсказывается различная величина энергетического масштаба, но в любом случае такие энергии недостижимы в обозримом будущем ни на ускорителях, ни в космических лучах. Для проверки моделей "Великого объединения" могут использоваться либо их предсказания в низкоэнергетической области, либо космологические следствия этих моделей (по современным представлениям, на очень ранних стадиях расширения Вселенной могли достигаться температуры много большие, чем энергетический масштаб "Великого объединения").

Одним из предсказаний моделей "Великого объединения" является несохранение барионного заряда и, как следствие, нестабильность протона.

Супергравитация - калибровочная теория суперсимметрии, представляющая собой суперсимметричное обобщение общей теории относительности (теории тяготения).

Расширенная теория супергравитации обладает симметрией, в принципе позволяющей



объединить все известные виды взаимодействий - гравитационное, слабое, электромагнитное и сильное. Однако имеющиеся модели пока далеки от реальной действительности (в частности, в них нет места некоторым фундаментальным частицам).