**Научная революция в физике начала ХХ века: возникновение релятивистской и квантовой физики**

**1. Создание специальной теории относительности (СТО)**

***1.1.Фундаментальные противоречия в основаниях классической механики***

После создания теории электромагнитного поля и экспериментального доказательства его реальности перед физикой встала задача выяснить, распространяется ли принцип относительности движения (сформулированный в свое время еще Галилеем) на явления, присущие электромагнитному полю. Принцип относительности Галилея был справедлив для механических явлений. Во всех инерциальных системах (т.е. движущихся прямолинейно и равномерно друг по отношению в другу) применимы одно и те же законы механики. Но справедлив ли этот принцип, установленный для механических движений материальных объектов, для немеханических явлений, особенно тех, которые представлены полевой формой материи, в частности электромагнитных явлений? Корни теории относительности лежат именно в этом комплексе проблем физики конца ХIХ века.

Ответы на эти вопросы лежали в области изучения закономерностей взаимосвязи движущихся тел с эфиром, но не как с механической средой, а как со средой, являющейся носителем электромагнитных колебаний. Отдаленные истоки такого рода исследований складывались еще в ХVIII веке в оптике движущихся тел. Впервые вопрос о влиянии движения источников света и приемников, регистрирующих световые сигналы, на оптические явления возник в связи с открытием аберрации света английским астрономом Брадлеем в 1728 г.

Вопрос о влиянии движения источников и приемников света на оптические явления для волновой теории света был значительно более сложным, чем для теории, основанной на представлении о корпускулярной природе света. Решение этого вопроса требовало введения ряда допущений. Эти гипотетические допущения касались явлений, которые было очень сложно выяснить в опыте: как взаимодействуют весомые тела и эфир (полагали, что эфир проникает в тела); отличается ли эфир внутри тел от эфира, находящегося вне их, и если отличается, то чем; как ведет себя внутри эфир тел при их движении, и т. д. Возрождавший волновую теорию света в начале XIX в. Т. Юнг, касаясь вопросов оптики движущихся тел, уже обратил на это внимание. Он отметил, что явление аберрации света может быть объяснено волновой теорией света, если предположить, что *эфир повсюду, в том числе и внутри движущихся тел, остается неподвижным.* В этом случае явление аберрации объясняется, как и в корпускулярной теории света.

В 1846 г. английский ученый Стокс разработал новую теорию аберрации на основе аналогий с гидродинамикой. Он исходил из предположения, что Земля при своем движении *полностью увлекает окружающий ее эфир*, так что скорость эфира на поверхности Земли в точности равна ее скорости. Но последующие слои эфира движутся все медленнее и медленнее, и это обстоятельство и вызывает искривление волнового фронта, что и воспринимается как аберрация. Из этой теории следует, что в любых оптических опытах, проведенных на Земле, не может быть обнаружена скорость ее движения.

Существовала и третья точка зрения. Она принадлежала Френелю, которому пришла очень интересная идея о *частичном увлечении эфира движущимися телами.* Френель показал также, что коэффициент увлечения имеет порядок ( v / c ) І , а значит опытная проверка этой идеи требует очень точного эксперимента.

Сравнивая свою теорию с теорией Френеля, Стокс указывал, что эти теории хотя и основываются на противоположных гипотезах, но практически приводят к одним и тем же результатам.

Принципиальная сторона вопроса сводилась в сущности к двум возможным гипотетическим допущениям. *Первое допущение состояло в том, что эфир полностью увлекается движущейся системой.*

Целый ряд опытов, которые были поставлены еще в ХIХ веке, показал, что скорость света всегда одинакова во всех системах координат, независимо от того, движется ли излучающий источник или нет, и независимо от того, как он движется. Таким образом, гипотеза о том, что эфир полностью увлекается движущейся системой позволяла придерживаться принципа относительности, но тем не менее противоречила опыту.

*Второе допущение прямо противоположно первому: движущаяся система проходит через эфир, не захватывая его.* Это предположение по сути отождествляет эфир с абсолютной системой отсчета и приводит к отказу от принципа относительности Галилея, ведь в системе координат, связанной с эфирным морем, законы природы отличаются от законов во всех других системах.

Таким образом, только в одной системе координат, которая связана с неподвижным эфирным морем, скорость света была бы одинакова во всех направлениях. В любой другой системе, движущейся относительно эфирного миря, она зависела бы от направления, в котором производилось измерение. А это значит, что для того, чтобы проверить эту вторую гипотезу, необходимо измерить скорость света в двух противоположных направлениях. Для этого воспользовались движением Земли вокруг Солнца: скорость света в направлении движения Земли отличалась бы от скорости света в противоположном направлении.

Очевидно, что если Земля не увлекает при своем движении окружающий эфир, то в первом случае эта скорость равна с1 = с - n = c(1 - n /c), а во втором случае с2 = c(1 + n /c), где n - скорость Земли. Таким образом, разница в скорости света в первом и втором случаях первого порядка малости относительно n /c. Однако для проведения такого опыта нужно уметь измерять время, необходимое для прохождения светом известного расстояния в определенном направлении, например в направлении движения Земли. А эта задача экспериментально неразрешима. Поэтому во всех проводимых на Земле опытах по определению скорости света эта скорость определяется по времени, которое требуется для прохождения светом расстояния в прямом и обратном направлениях. Следовательно, для того чтобы определить влияние движения Земли на скорость света, остается возможность сравнить время прохождения светом определенного расстояния L туда и обратно один раз вдоль движения Земли, а другой раз, в направлении, перпендикулярном этому движению. Но в этом случае разница во времени в первом и втором случаях является величиной уже второго порядка малости относительно n /с, т. е. величиной порядка n 2/с2.

Таким образом, хотя принципиально с помощью эксперимента и можно решить вопрос о поведении эфира при движении Земли, тем не менее вследствие малости величины n 2/с2" 10-8, ожидаемый эффект должен быть чрезвычайно мал. И тем не менее такой эксперимент был в 1887 г. осуществлен Майкельсоном и Морли. Результаты этого эксперимента достоверно свидетельствовали, что скорость света не испытывает влияния движения Земли.

Это поставило второе допущение в исключительно затруднительное положение. Для того, чтобы спасти его Фитцджеральд и независимо от него Лоренц высказали в 1892 г. оригинальную гипотезу. Суть ее состоит в том, что отрицательный результат опыта Майкельсона - Морли может быть объяснен тем, что каждое движущееся в эфире тело сокращает свои размеры в направлении своего движения относительно эфира. Согласно этой гипотезе, размеры тел при движении в эфире уменьшаются в направлении движения в 1: (1-n 2/с2)1/2 раз. Эта гипотеза совместно с гипотезой неувлекаемого, всюду неподвижного эфира чисто формально объясняла отрицательный результат опыта Майкельсона. Но никаких разумных теоретических соображений о причинах изменения размеров тел она не выдвигала. Более того, гипотеза Фитцжеральда - Лоренца предполагает, что вообще не существует никаких (ни эмпирических, ни теоретических) средств, позволявших бы решить вопрос о том, движется ли тело относительно эфира или покоится.

Таким образом, к рубежу ХIХ-ХХ веков развитие физики привело к осознанию противоречий и несовместимости трех принципиальных оснований классической механики:

1. Скорость света в пустом пространстве всегда постоянна, независимо от движения источника или приемника света.

2. В двух системах координат, движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга, все законы природы строго одинаковы, и нет никакого средства обнаружить абсолютное прямолинейное и равномерное движение (принцип относительности).

3. Координаты и скорости преобразовываются от одной инерциальной системы к другой согласно классическим преобразованиям Галилея.

Было ясно, что эти три положения не могут быть логически объединены друг с другом, поскольку они несовместимы. Долгое время все усилия многих физиков были направлены на то, чтобы попытаться каким-либо образом изменить первые два из этих трех положений, оставив неизменным третий как само собой разумеющийся. С другой стороны, немалые усилия были потрачены на то, чтобы опытным путем, постановкой множества экспериментов доказать верность, истинность первых двух положений. В конце концов появилась даже идея замены преобразований Галилея, но она выступила лишь в виде гипотезы a d h o c .

Французский математик и физик Анри Пуанкаре (1854 - 1912) обратился к проблемам, рассмотренным Лоренцем. В отличие от последнего, Пуанкаре сразу исходил из принципа относительности, который он распространил на оптические и любые явления природы. Пуанкаре ближе всего подходил к основным представлениям теории относительности, а в разработке математического аппарата он был даже впереди Эйнштейна. Но Пуанкаре так и не решился на полный разрыв с классическими принципами и представлениями, хотя и был близок к этому.

Внутренней логикой своего развития физика подводилась к необходимости найти нестандартный новый путь в разрешении фундаментальных противоречий в ее принципиальных основаниях. Этот путь и был найден великим физиком ХХ в. А. Эйнштейном (1879 - 1955) .

***1.2. Создание А. Эйнштейном специальной теории относительности (СТО)***

В сентябре 1905 г. в немецком журнале "Аппа1еп der Physik" появилась работа Эйнштейна "К электродинамике движущихся тел". Эйнштейн сформулировал основные положения специальной теории относительности, которая объясняла и отрицательный результат опыта Майкельсона - Морли, и смысл преобразований Лоренца, и, кроме того, содержала новый взгляд на пространство и время.

Эйнштейн пошел по третьему из трех возможных путей преодоления противоречий в принципиальных основах классической механики (первые два были исчерпаны Г. Герцем и Лоренцем). Эйнштейн пришел к убеждению, что необходимо сохранить в качестве верных два первых утверждения (принцип постоянства скорости света и принцип относительности), но отказаться от преобразований Галилея. И дело не просто в том, чтобы чисто формально заменить их другим преобразованием. Он увидел, что за преобразованиями Галилея кроется определенное представление о пространственно-временных соотношениях, которое не соответствует физическому опыту и реальным пространственно-временным соотношениям вещей. Таким наиболее слабым звеном принципиальных оснований классической механики было *представление об абсолютной одновременности событий.* Этим представлением, не сознавая его сложной природы, не эксплицируя, и пользовалась классическая механика.

Появлению статьи Эйнштейна "К электродинамике движущихся тел", в которой впервые были изложены основы теории относительности, предшествовало, по словам самого автора, 7 - 10 лет упорных размышлений над проблемой влияния движения тел на электромагнитные явления. Прежде всего, Эйнштейн пришел к твердому убеждению о всеобщности принципа относительности, т. е. к выводу, что и в отношении электромагнитных явлений, а не только механических, все инерциальные системы координат совершенно равноправны. Одновременно с принципом относительности, Эйнштейну казалось ясным и существование инвариантности скорости света во всех инерциальных системах отсчета. В своих воспоминаниях он пишет, что еще в 1896 г. у него " возник вопрос: если бы можно было погнаться за световой волной со скоростью светя, то имели бы мы перед собой не зависящее от времени волновое поле? Такое все-таки кажется невозможным!". Таким образом, Эйнштейн, по-видимому, еще в молодости пришел также к принципу, согласно которому во всех инерциальных системах скорость распространения световой волны одинакова.

Как же можно совместить эти два принципа? Одновременное их действие кажется невозможным. Однако из этого парадоксального положения Эйнштейн находит выход, анализируя понятие одновременности. Такой анализ подводит его к выводу об относительном характере этого понятия. *В осознании относительности одновременности заключается гвоздь всей теории относительности*, выводы которой, в свою очередь, приводят к необходимости пересмотра понятий пространства и времени - основополагающих понятий всего естествознания.

В классической физике всегда полагали, что можно просто говорить об абсолютной одновременности событий сразу во всех точках пространства. Эйнштейн убедительно показал неверность этого представления.

Но если ввести такое определение одновременности, то вследствие конечной скорости распространения света это понятие становится относительным. Иначе говоря, одновременные события в одной системе не будут одновременными в другой системе, движущейся относительно первой системы.

Действительно, пусть в точках А и В, расположенных на расстоянии L друг от друга, находятся неподвижные часы, которые синхронизированы по правилу, приведенному выше. Пусть теперь наблюдатель, двигающийся относительно часов с постоянной скоростью v в направлении АВ, захочет проверить синхронность хода часов. Он должен считать время движения сигнала от А до В равным tB - tA = L/ (c - n ), а промежуток времени движения сигнала в обратном направлении tA - tB = L / (c + n ). Но принцип постоянства скорости света предполагает, что скорость света относительно движущегося наблюдателя неизменная и равна с. Значит не существует способов установления синхронности часов; часы, синхронные для покоящегося наблюдателя, перестают быть синхронными, когда он движется по отношению к системе, в которой покоятся часы. Следовательно, понятие одновременности относительное. События, которые являются одновременными для одного наблюдателя, не одновременны для другого наблюдателя, движущегося относительно первого.

Новое понимание одновременности, осознание ее относительности приводит к необходимости признания относительности размеров тел. Чтобы измерить длину тела, нужно отметить его границы на масштабе одновременно. Однако что одновременно для неподвижного наблюдателя, уже не одновременно для движущегося, поэтому и длина тела, измеренная разными наблюдателями, которые движутся относительно друг друга с различными скоростями, должна быть различна.

На следующем этапе становления специальной теории относительности этим общим идейным рассуждениям Эйнштейн придает математическую форму и, в частности, выводит формулы преобразования координат и времени - "преобразования Лоренца". Но у Эйнштейна эти преобразования уже имеют иной смысл. Одно и то же тело имеет различную "истинную" длину, если оно движется с различной скоростью относительно масштаба, с помощью которого эта длина измеряется. То же самое относится и ко времени. Промежуток времени, в течение которого длится какой-либо процесс, различен, если измерять его движущимися с различной скоростью часами. *В теории Эйнштейна размеры тел и промежутки времени теряют абсолютный характер, какой им приписывали раньше, и приобретают смысл относительных величин, зависящих от относительного движения тел и инструментов, с помощью которых проводилось их измерение.* Они приобретают такой же смысл, какой имеют уже известные относительные величины, такие, как, например, скорость, траектория и т. п. Таким образом Эйнштейн приходит к выводу о необходимости изменения пространственно-временных представлений, которые выработаны классической физикой.

Кроме формул преобразований координат и времени Эйнштейн получает также релятивистскую формулу сложения скоростей, показывает, что масса тела также является относительной величиной, зависящей от скорости. Кроме того, Эйнштейн показывает, что между массой тела и его полной энергией существует определенное соотношение. Он формулирует следующий закон: "масса тела есть мера содержащейся в нем энергии" в соотношении E = m c І .

Создание СТО было качественно новым шагом в развитии физического познания. СТО отличается от классической механики тем, что наблюдатель со средствами наблюдения органически входит в физическое описание релятивистских явлений. Описание физических процессов в СТО существенно связано с выбором системы координат. *Физическая теория описывает не физический процесс сам по себе, а результат взаимодействия физического процесса со средствами исследования.* Обращая на это внимание, А. Эйнштейн в своей статье "К электродинамике движущихся тел" (1905 г.) пишет: "Суждения всякой теории касаются соотношений между твердыми телами (координатными системами), часами и электромагнитными процессами". В СТО, в которой сложилось осознание того, что нельзя дать описание физического процесса самого по себе, можно только дать его описание по отношению к определенной системе отсчета, впервые в истории физики непосредственно проявился диалектический характер процесса познания, активность субъекта познания, неотрывное взаимодействие субъекта и объекта познания.

**2.Создание и развитие общей теории относительности (ОТО)**

***2.1.Принципы и понятия эйнштейновской теории гравитации***

Классическая механика и СТО формулируют закономерности физических явлений только в инерциальных системах отсчета. Вместе с тем, ни классическая механика, ни СТО не дают средств для реального выделения таких инерциальных систем. Получалось так, что законы физики справедливы лишь для некоторого достаточно узкого класса систем координат (инерциальных). Вполне закономерно возникла проблема, как распространить законы физики и на неинерциальные системы. После создания СТО Эйнштейн начал задумываться над распространением принципа относительности на случай неинерциальных систем. Возникает вопрос: на каком пути можно осуществить эту идею?

Возможность реализации этой идеи Эйнштейн увидел на пути обобщения принципа относительности движения - распространение принципа относительности не только на скорость, но и на ускорение движущихся систем. *Если отказаться от приписывания абсолютного характера не только скорости, но и ускорению, то в таком случае выделенность класса инерциальных систем потеряет свой смысл, и можно так формулировать физические законы, чтобы их формулировка имела смысл в отношении любой системы координат.* Это и есть содержание *общего принципа относительности*. Это означает, что точно так же, как нельзя говорить о скорости тела вообще, безотносительно к какому-нибудь телу В, так, очевидно, и ускорение имеет конкретный смысл по отношению к некоторому фактору, вызывающему и определяющему его.

До Эйнштейна существовало две точки зрения на причины, порождающие инерциальные силы в ускоренных системах. Ньютон считал, что таким фактором является абсолютное пространство, а Э. Мах - действие общей массы Вселенной (см. 8.1.3.). Эйнштейн пошел по иному пути - по пути расширения принципа эквивалентности сил инерции и сил тяготения (инертной и гравитационной масс) на оптические явления.

Эквивалентность инертной и гравитационной масс в классической механике была известна. Еще Галилей установил, что все тела на Земле, если не учитывать сопротивление воздуха, падают с одним и тем же ускорением. Ньютон подтвердил этот вывод опытами с маятниками. В 1890 г. венгерский физик Этвеш проверил этот факт с большой степенью точности (до 1 0 n , где n = - 9 ). (Сейчас эта точность поднята до n = - 1 2 ).

Некоторыми физиками высказывается мнение, что гравитационная и инертная массы всегда равны и имеют одну и ту же природу. Но так как согласно теории относительности энергия обладает инерцией, то она должна обладать и тяжестью. Эйнштейн также обращается к этой проблематике и задумывается о том, не обладает ли энергия также тяжелой (гравитирующей) массой и уже в 1911 г. и приходит к новым результатам и идеям, которые затем легли в основу общей теории относительности.

В центре его размышлений оказался вопрос: можно ли оценивать движение равноускоренной системы S ' по отношению к инерциальной системе S как пребывание в относительном покое? Теоретический анализ подводит его к выводу, что две системы отсчета, одна из которой движется ускоренно, а другая хотя и покоится, но в ней действует однородное поле тяготения, в отношении механических явлений эквивалентны и неразличимы. Это утверждение Эйнштейн иллюстрирует примером, в котором наблюдатель, находящийся в закрытом лифте, не может определить, движется ли ускоренно лифт или внутри него действуют силы тяготения. *Эквивалентность, существующую между ускорением и однородным полем тяготения, которая справедлива для механики, Эйнштейн считает возможным распространить на оптические и вообще любые физические явления.* Этот *расширенный принцип эквивалентности* и был положен им в основу общей теории относительности. В последующие годы Эйнштейн, продолжая развивать эти идеи, создал новую теорию, которую назвал общей теорией относительности. Построение этой теории он закончил в 1916 г.

С точки зрения ОТО пространство не обладает постоянной (нулевой) кривизной. Кривизна его меняется от точки к точке. Кривизна пространства определяется полем тяготения. Можно сказать больше: поле тяготения является не чем иным, как отклонением свойств реального пространства от свойств идеального евклидова пространства. Величина поля тяготения в каждой точке определяется значением кривизны пространства в этой точке. Таким образом, движение материальной точки в поле тяготения можно рассматривать как свободное "инерциальное" движение, но происходящее уже не в евклидовом, а в пространстве с изменяющейся кривизной. В результате, движение точки уже не является прямолинейным и равномерным, а происходит по геодезической линии искривленного пространства. Отсюда следует, что уравнение движения материальной точки, а также и луча света должно быть записано в виде уравнения геодезической линии искривленного пространства.

Для определения кривизны пространства необходимо и достаточно знать выражение для компонент т.н. фундаментального тензора, который в теории Эйнштейна аналогичен потенциалу в теории тяготения Ньютона. Задача, следовательно, заключается в том, чтобы, зная распределения тяготеющих масс в пространстве, определить функции координат и времени (компонентов фундаментального тензора); тогда можно записать уравнение геодезической линии и решить проблему движения материальной точки, проблему распространения светового луча и т. д. Эйнштейн решил эту задачу и нашел общее уравнение гравитационного поля, которое в классическом приближении переходило в закон тяготения Ньютона. Таким образом, проблема тяготения была решена им в общем виде.

ОТО кардинально отличается от предшествующих ей фундаментальных физических теорий. Она отказывается от целого ряда старых понятий, формулируя вместе с тем новые понятия. Так, ОТО отказывается от понятий "сила", "потенциальная энергия", "инерциальная система", "евклидов характер пространства- времени" и др. Зато вводятся новые понятия. Поскольку в гравитационных полях не существует твердых тел, и ход часов зависит от состояния этих полей, то ОТО вынуждена пользоваться нежесткими (деформирующимися) телами отсчета. Такая система отсчета (ее называют "моллюском отсчета") может двигаться произвольным образом и ее форма может изменяться, используемые часы могут быть со сколь угодно нерегулярным ходом. В то же время ОТО углубляет понятие поля, связывая воедино понятия инерции, гравитации и метрики пространства-времени, сохраняет инвариантный смысл понятий точка (пространственно-временное совпадение) пространственно-временной континуум конечного числа измерений (устанавливая его риманов характер) и др.

***2.2. Экспериментальная проверка ОТО***

ОТО стала фундаментом для выявления новых общих свойств и закономерностей Вселенной. Первым ее успехом было объяснение открытой еще в 1859 г. (и непонятной с точки зрения классической теории) дополнительной скорости движения перигелия Меркурия (около 4 3 " в столетие) под влиянием гравитационного поля Солнца. В соответствии с ОТО, результатом действия поля тяготения является то, что движение материальной точки, так же как и распространение светового луча, уже не является равномерным и прямолинейным. Распространение выводов ОТО на оптические явления приводит к ряду необычных следствий: явлению красного смещения спектров звезд и отклонению светового луча под действием этого поля.

Таким образом, в ОТО был получен новый фундаментальный результат: скорость света уже не является постоянной величиной, она изменяется, когда свет проходит поле тяготения, увеличиваясь или уменьшаясь в зависимости от взаимного направления распространения света и направления сил тяготения. Отсюда, в частности, следует, что луч света, проходя мимо тела, обладающего сильным полем тяготения, должен искривляться, если его направление не совпадает с направлением силы тяготения. Этот эффект может быть обнаружен. При наблюдении солнечного затмения можно сравнить положение группы звезд, находящихся на небесной сфере вблизи Солнца во время его затмения (когда их можно наблюдать), с положением этой же группы звезд ночью. В первом случае световые лучи от этих звезд, проходя около поверхности Солнца, должны искривляться в его гравитационном поле, следовательно, наблюдаться смещенными относительно их обычного положения на небесной сфере.

Опыты по измерению отклонения лучей света, проходящих около Солнца, имели большое значение для широкого признания общей, а вместе с ней и специальной теории относительности. В 1919 г. одна английская экспедиция направилась в Бразилию, а другая - на один из островов, расположенных возле африканского материка, для проверки этого эффекта. Наблюдения обеих экспедиций подтвердили существование эффекта Эйнштейна. Предполагаемое смещение группы звезд, видимых около Солнца во время затмения, действительно имело место, хотя точность измерений была невелика. Проведенные в 1922 г. новые измерения также подтвердили существование эффекта, предсказанного теорией Эйнштейна.

Другой результат, полученный в теории Эйнштейна, - наличие красного смещения в спектрах небесных тел - был подтвержден Сент-Джоном в 1923 - 1926 гг. при наблюдении спектра Солнца. В 1925 г. Адамс подтвердил выводы теории, наблюдая спектр спутника Сириуса, обладающего чрезвычайно большим полем тяготения.

Таким образом, экспериментальных подтверждений общей теории относительности чрезвычайно мало: изменения орбиты Меркурия, красное смещение для света, искривление лучей света вблизи Солнца, обусловленное кривизной пространства. Согласие теории с опытом достаточно хорошее, но чистота экспериментов нарушается различными сложными побочными влияниями.

***2 3. Современное состояние теории гравитации и ее роль в физике ХХ века***

Общая теория относительности сыграла в физике ХХ века особую и своеобразную роль.

Во-первых, она представляет собой теорию тяготения, хотя, возможно, и не вполне законченную, не лишенную некоторых недостатков. Это проявляется в том, что математический аппарат теории настолько сложен, что почти все задачи, кроме самых простейших, оказываются неразрешимыми. Трудность отчасти состоит в том, что гравитация - это вид энергии и поэтому она сама является собственным источником энергии; гравитация как физическое поле сама обладает (как, например, и электромагнетизм) энергией и импульсом, а значит, и массой. Ввиду таких трудностей (возможно, они скорее технического характера, но может быть и принципиального) ученые до сих пор - спустя 80 лет после того, как была сформулирована общая теория относительности,- все еще пытаются разобраться в ее смысле.

Поэтому вполне закономерно и то, что в ХХ веке физики продолжали попытки создания альтернативных теорий тяготения. Их создано уже свыше 20. Некоторые из них, как и теория Эйнштейна, т. е. исходят из геометрического толкования гравитации, а другие исходят из понятия поля, заданного в плоском пространстве-времени. Почти все эти альтернативные теории не предсказывают новых экспериментов и потому их эвристическое значение практически равно нулю. Среди физиков давно уже признано, что общая теория относительности дает наилучшее известное описание пространства-времени и гравитации. Такое признание в значительной степени обусловлено поистине удивительными красотой и идейно-теоретическим изяществом этой теории.

Во-вторых, на основе ОТО были развиты два фундаментальных направления современной физики:

* ·         геометризированные единые теории поля;
* ·         релятивистская космология.

Успешная геометризация гравитации заставила многих физиков задуматься над вопросом о сущности физики в ее отношении с геометрией. В этом вопросе сложились две противоположные точки зрения:

1. Поля и частицы непосредственно не определяют характер пространственно-временного континуума. Он сам служит лишь ареной их проявления. Поля и частицы чужды геометрии мира. Поля и частицы надо добавить к геометрии, чтобы вообще можно было говорить о какой-либо физике.

2. В мире нет ничего, кроме пустого искривленного пространства. Материя, заряд, электромагнетизм и другие поля являются лишь проявлением искривленного пространства. Физика есть геометрия.

ОТО оказалась переходной теорией между первым и вторым подходами. В ОТО представлен смешанный тип описания реальности: гравитация в ней геометризирована, а частицы и поля, отличные от гравитации, добавляются к геометрии.

Успех в геометризации гравитации побудил многих ученых (в том числе и самого Эйнштейна) к попыткам объединения электромагнитного и гравитационного полей в рамках достаточно общего геометрического формализма на базе ОТО. С дальнейшим открытием разнообразных элементарных частиц и соответствующих им полей естественно встала проблема включения и их в рамки подобной единой теории. Так было положено начало длительному процессу поисков геометризированной единой теории поля, который по замыслу должен реализовать второй подход - *сведение физики к геометрии,* создание т.н. геометродинамики*.*

**3. Возникновение и развитие квантовой физики**

***3.1. Гипотеза квантов***

Истоки квантовой физики уходят своими корнями в изучение процессов излучения тел. Еще в 1809 г. Прево сделал вывод о том, что каждое тело излучает независимо от окружающей среды. Развитие спектроскопии в Х1Х веке привело к тому, что вместе с исследованием спектров излучения начинают обращать внимание и на спектры поглощения. При этом выясняется, что между излучением и поглощением тела существует простая связь. В спектрах поглощения отсутствуют или ослабляются те участки спектра которые испускаются данным телом. Этот закон получил свое объяснение только в квантовой теории.

Густав Кирхгоф (1824 - 1887) сформулировал новый закон, известный под именем закона Кирхгофа. Он показал, что для лучей одной и той же длины волны при одной и той же температуре отношение испускательной и поглощательной способности для всех тел одно и то же. Или, другими словами, если Еl T и Аl T - соответственно испускательная и поглощательная способность тела, зависящие от длины волны l и температуры Т, то где j (l ,T) - некоторая универсальная функция l и Т, одинаковая для всех тел.

Кирхгоф ввел также понятие абсолютного черного тела как тела, поглощающего все падающие на него лучи, и дал известную его модель. Для такого тела, очевидно, Al T =1; тогда универсальная функция Кирхгофа j (l , Т) равна испускательной способности абсолютно черного тела. Сам Кирхгоф не определил вид функции j (l , Т), а отметил только некоторые ее свойства. Встала задача определить вид этой функции. Функция j (l , Т) - универсальная, поэтому естественно было предполагать, что ее вид можно определить, исходя из теоретических соображений - используя основные законы термодинамики. Больцман показал, что полная энергия излучения абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени его температуры .Однако задача определения вида функции Кирхгофа оказалась весьма трудной.

В 80-е годы ХIХ века эмпирические исследования закономерностей в распределении спектральных линий и изучение функции j ( l , T ) стали более интенсивными и систематическими. Была усовершенствована экспериментальная аппаратура. Для энергии излучения абсолютно черного тела Вином в 1896 г. и Рэлеем и Джином в 1900 г. было предложено две различные формулы. Как показали экспериментальные результаты, формула Вина ассимптотически верна в области коротких волн и дает резкие расхождения с опытом в области длинных волн, а формула Рэлея- Джинса таким же образом верна для длинных волн, но не применима для коротких.

В 1900 г. в октябре на заседании Берлинского физического общества Макс Планк (1858 - 1947) предложил новую формулу для распределения энергии в спектре черного тела, полученную первоначально полуэмпирическим путем. Эта формула давала полное соответствие с опытом. Но физический смысл этой формулы был не вполне понятен. Дополнительный анализ показал, что эта формула имеет смысл только в том случае, если допустить, что излучение энергии происходит не непрерывно, а определенными порциями - квантами (e ). Более того, e не является любой величиной, а именно e = hn , где h - совершенно определенная константа, а n - частота света. Это вело к признанию *наравне с атомизмом вещества атомизма энергии или действия, дискретного, квантового характера излучения,* что не укладывалось в рамки основных представлений классической физики. *Формулировка гипотезы квантов энергии была началом новой эры в развитии теоретической физики.* В 1912 г. А. Пуанкаре окончательно показал несовместимость формулы Планка и классической механики.

Эту гипотезу вскоре с большим успехом начали применять для объяснения других явлений, которые нельзя было объяснить на основе представлений классической физики. Существенно новым в развитии квантовой теории было введение понятия квантов света. Эта идея под влиянием гипотезы Планка была разработана в 1905 г. Эйнштейном и применена им для объяснения оптических явлений и, в частности, фотоэффекта.

В 1909 г. Эйнштейн, продолжая исследования по теории излучения признает, что свет обладает одновременно и волновыми и корпускулярными свойствами. В целом ряде исследований были получены новые подтверждения гипотезы Эйнштейна о квантовых свойствах света. Теперь всем было ясно, что световое излучение обладает и корпускулярными и волновыми свойствами.

***3.2. Теория атома Н. Бора. Принцип соответствия***

В свете тех выдающихся открытий конца ХIХ века, которые революционизировали физику, одной из ключевых проблем естествознания стала проблема строения атомов. Еще в 1889 г. в своей Фарадеевской лекции Д. И. Менделеев отмечал, что в результате выявления специфической периодичности химических свойств элементов, расположенных по возрастающим атомным весам, центральной проблемой физики становится проблема строения атома.

В 1909 - 1910 гг. сотрудниками лаборатории английского физика Эрнеста Резерфорда (1871 - 1937) были проведены экспериментальные исследования рассеяния a -частиц тонким слоем вещества. Эти исследования показали, что для большинства a -частиц, пронизывающих тонкий слой вещества, можно принять, что они рассеиваются силовыми центрами, которые действуют на них с силой, обратно пропорциональной квадрату расстояния. Для некоторых же сравнительно немногих частиц, отклонение которых составляло угол 90 и больше, нужно было принять, что они встретились с очень сильными электрическими полями (в результате они даже отбрасываются назад). Это позволило Резерфорду в 1911 г. в сформулировать *планетарную модель атома*.

По теории Резерфорда, атом состоит из положительного ядра, гораздо меньших размеров, нежели атом, порядка 10-13 см. Вокруг ядра вращаются электроны. Общий заряд атома равен нулю, поэтому заряд ядра по абсолютной величине равен *ne*, где *n* - число электронов в атоме, *e* - заряд электрона. Резерфорд полагал также, что число электронов в атоме должно быть равно порядковому номеру элемента в периодической системе Менделеева. Но модель Резерфорда еще не объясняла многих выявленных к тому времени закономерностей, и прежде всего закономерностей излучения атомов.

Успеха в построении более совершенной квантовой модели атома добился в 1913 г. молодой датский физик Нильс Бор (1885 - 1962), работавший в лаборатории Резерфорда. Бор понял, что для построения теории, которая объясняла бы и результаты опытов по рассеянию a -частиц, и устойчивость атома, и сериальные закономерности, и ряд других экспериментальных данных, нужно отказаться от некоторых принципов классической физики. Н. Бор взял за основу модель атома Резерфорда и дополнил ее новыми гипотезами, которые не следуют или даже противоречат классическим представлениям. Эти гипотезы известны как постулаты Бора. Они сводятся к следующему.

1. Каждый электрон в атоме может совершать устойчивое орбитальное движение по определенным орбитам, с определенным значением энергии, не испуская и не поглощая электромагнитного излучения. В этих состояниях атомные системы обладают энергиями, образующими дискретный ряд: E ' , E " ,. . . ,E n . Состояния эти характеризуются своей устойчивостью. Всякое изменение энергии в результате поглощения или испускания электромагнитного излучения может происходить только скачком из одного состояния в другое.

2. Электрон способен переходить с одной стационарной орбиты на другую. И только в этом случае он испускает или поглощает определенную порцию энергии монохроматического излучения определенной частоты. Эта частота определяется величиной изменения энергии атома при таком переходе. Если при переходе электрона с орбиты на орбиту и энергия атома изменяется от Еm до Еn, то испускаемая или поглощаемая частота определяется условием

hn mn = Еm - Еn

Эти постулаты Бор использовал для расчета простейшего атома (атома водорода), рассматривая первоначально наиболее простую его модель: неподвижное ядро, вокруг которого вращается по круговой орбите электрон. Объяснение спектра водорода было большим успехом теории Бора.

Важным достижением квантовой теории Бора было также развитие им и другими исследователями представления о строении многоэлектронных атомов. После первых результатов, достигнутых в теории строения атома водорода и объяснения на основании этой теории спектров, были предприняты шаги в развитии теории строения более сложных атомов и объяснений структуры их спектров. В этом направлении были достигнуты некоторые успехи, однако исследователи встретились и с большими трудностями.

Введение четырех квантовых чисел, установление принципа Паули и объяснение периодической системы Менделеева - большие успехи теории атома Бора. Однако они по-прежнему не означали, что теорию можно считать удовлетворительной. Во-первых, сами постулаты Бора имели характер непонятных, ни откуда не следуемых утверждений, которые должны были бы получить свое обоснование. Во-вторых, теория дала многое для выяснения строения атома и атомных спектров и т. д., однако ее применение часто встречало непреодолимые трудности уже в довольно простых случаях. Так, никакие попытки теоретически рассчитать даже такой, казалось бы, простой атом, как атом гелия, не привели к успеху. Неудовлетворительность теории атома ясно понималась самими физиками.

***3.3. Создание нерелятивистской квантовой механики***

Таким образом, в первой четверти ХХ века перед физикой по прежнему стояла задача нахождения новых путей развития теории атомных явлений. Эти пути потребовали отказа от целого ряда давно установленных понятий и выработки совершенно новых теоретических представлений и принципов. Такие представления и принципы были созданы целой плеядой выдающихся физиков ХХ века. Молодой немецкий ученый Гейзенберг установил основы так называемой матричной механики; французский физик де Бройль, а за ним австрийский физик Шредингер разработали волновую механику. Как вскоре оказалось, и матричная механика, и волновая механика - различные формы общей теории, получившей название квантовой механики.

К созданию матричной механики В. Гейзенберг (1901-1975) пришел в результате исследований спектральных закономерностей, а также теории дисперсии, в которой атом представлялся некоторой символической математической моделью - как совокупность виртуальных гармонических осцилляторов. Представления же об атоме как о системе, состоящей из ядра и вращающихся вокруг него электронов, которые обладают определенной массой, движутся с определенной скоростью по определенной траектории, нужно понимать лишь как аналогию для установления соответствующей математической модели. Указанный метод исследования и развил Гейзенберг, распространив его вообще на теорию атомных явлений. При этом особую роль играл принцип соответствия как принцип аналогии между классическим и квантовым рассмотрениями. Именно таким путем Гейзенберг рассчитывал преодолеть трудности, возникшие перед полуклассической теорией Бора.

В 192б г. Гейзенберг впервые высказывает основные положения квантовой механики в матричной форме. Теория атомных явлений, по Гейзенбергу, должна ограничиваться установлением соотношений между величинами, которые непосредственно измеряются в экспериментальных исследованиях ("наблюдаемыми" величинами, по терминологии Гейзенберга) - частотой излучения спектральных линий, их интенсивностью, поляризацией и т. п. "Ненаблюдаемые" же величины, такие, как координаты электрона, его скорость, траектория, по которой он движется, и т. д., не должны использоваться в теории атома. Однако в согласии с принципом соответствия новая теория должна определенным образом соответствовать классическим теориям. Конкретно это должно выражаться в том, что соотношения новой теории должны находиться в отношении аналогии с соотношениями классических величин. При этом каждой классической величине нужно найти соответствующую ей квантовую величину и, пользуясь классическими соотношениями, составить соответствующие им соотношения между найденными квантовыми величинами.

Второе направление в создании квантовой механики начало развиваться в работах французского физика Луи де Бройля. В них была высказана идея о волновой природе материальных частиц. На основании уже установленного факта наличия у света одновременно и корпускулярных и волновых свойств, а также оптико-механической аналогии у де Бройля возникла идея о существовании волновых свойств частиц.

Первые работы де Бройля, в которых высказывалась идея волн, связанных с материальными частицами, не обратили на себя серьезного внимания. Де Бройль впоследствии писал, что идеи, которые он высказал, были приняты с "удивлением, к которому несомненно примешивалась какая-то доля скептицизма". Но не все скептически отнеслись к идеям де Бройля. Особенно сильное влияние идеи де Бройля оказали на австрийского физика Эрвина Шредингера (1887 - 1961), который увидел в них источник для создания новой атомной механики. В 1926 г. последовали работы Шредингера, в которых он, развивая идеи де Бройля, построил так называемую волновую механику.

Шредингер впервые установил связь между квантовой и волновой механикой, которую уточнил в последующих работах. Он показал, что при всем различии исходных физических положений они *математически эквивалентны*.

В 1927 г. волновая механика получила новое прямое экспериментальное подтверждение. В этом году Дэвиссоном и Джермером было обнаружено явление дифракции электронов. Таким образом, гипотеза де Бройля получила прямое экспериментальное подтверждение, оказалось правильным и найденное им количественное соотношение для длин "волн де Бройля". Кроме оправдания квантовой механики непосредственным подтверждением волновой природы электрона, с помощью этой теории удалось построить более совершенную теорию твердого тела, теорию электропроводности, термоэлектрических явлений, теорию магнетизма и т. д. Квантовая теория дала возможность приступить к построению теории радиоактивного распада, а в дальнейшем стала основой для новой области физики - ядерной физики и т. д.

Вслед за основополагающими работами Шредингера по волновой механике были сделаны первые попытки релятивистского обобщения квантово-механических закономерностей, и уже в 1928 г. Дирак заложил основы релятивистской квантовой механики.

***3.4. Проблема интерпретации квантовой механики***

*Принцип дополнительности*

Созданный группой физиков в 1925-1927 г.г. формальный математический аппарат квантовой механики убедительно продемонстрировал свои широкие возможности по количественному охвату значительного эмпирического материала; не оставалось никаких сомнений, что квантовая механика целиком пригодна для описания определенного круга явлений. Вместе с тем, исключительная абстрактность квантово-механических формализмов, наличие значительных отличий в сравнении с классической механикой (кинематические и динамические переменные заменены абстрактными символами некоммутативной алгебры, отсутствие понятия электронной орбиты, необходимость интерпретации формализмов и др.) рождали ощущение незавершенности, неполноты новой теории. В результате возникло мнение о необходимости ее завершения.

Никто и не возражал против того, что новую теорию нужно "дорабатывать". Дискуссия возникла по вопросу о том, каким путем это нужно делать. А. Эйнштейн и ряд других физиков считали, что квантово-механическое описание физической реальности является существенно неполным. Иначе говоря, созданная теория не является фундаментальной теорией, а лишь промежуточной ступенью по отношению к ней, поэтому необходимо дополнить существующую теорию принципиально новыми постулатами и понятиями, т. е. дорабатывать ту часть оснований новой теории, которая связана с ее принципами.

Другие физики, во главе с Н. Бором, считали, что созданная новая теория является фундаментальной и дает полное описание физической реальности, а "прояснить положение вещей можно было здесь только путем более глубокого исследования проблемы наблюдений в атомной физике". Иначе говоря, Н. Бор и его единомышленники считали, что "доработка" квантовой механики должна идти по линии уточнения той части ее оснований, которые связаны не с принципами теории, а с ее методологическими установками, по линии соответствующей интерпретации созданного математического формализма. Разработка методологических установок квантовой механики, являвшаяся важнейшим звеном в интерпретации этой теории, длилась вплоть до конца 40-х годов ХХ века. Завершение выработки этой интерпретации одновременно означало и завершение научной революции в физике, начавшейся в конце ХIХ века.

Основной отличительной особенностью экспериментальных исследований в области квантовой механики является фундаментальная роль взаимодействия между физическим объектом и измерительным устройством. Это связано с корпускулярно-волновым дуализмом. И свет и частицы проявляют в различных условиях противоречивые свойства, и, в связи с этим, о них возникает противоречивое представление. В одном типе измерительных приборов (дифракционная решетка) они представляются нам в виде непрерывного поля, распределенного в пространстве, будь то световое поле или поле, которое описывается волновой функцией. В другом типе приборов (пузырьковая камера) эти же микроявления выступают как частицы, как материальные точки. Причиной корпускулярно-волнового дуализма, по Бору, является то обстоятельство, что сам микрообъект не является ни волной, ни частицей в обычном понимании.

Невозможность провести резкую границу между объектом и прибором в квантовой физике выдвигает две проблемы:

* ·         каким образом можно отличить знания об объекте от знаний о приборе?
* ·         каким образом, различив их, связать в единую картину, теорию объекта?

Первая задача разрешается введением требования описывать поведение прибора на языке классической физики, а принципиально статистическое поведение микрочастиц - на языке квантово-механических формализмов. Вследствие того, что сведения о микрообъекте получают в результате его взаимодействия с классическим прибором, т.е. макроскопическим объектом, микрообъект можно интерпретировать только в классических понятиях, т.е. использовать классические представления о волне и частице. Мы как бы вынуждены говорить на классическом языке, хотя с его помощью нельзя выразить все особенности микрообъекта, который не является классическим.

Вторая задача разрешается с помощью *принципа дополнительности: волновое и корпускулярное описания микропроцессов не исключают и не заменяют друг друга, а взаимно дополняют друг друга,* при одном представлении микрообъекта используется причинное описание соответствующих процессов, в другом же случае пространственно - временное. Единая картина объекта является синтезом этих двух описаний.

**4. Методологические установки неклассической физики**

Создание релятивистской, а затем и квантовой физики привело к необходимости значительного пересмотра методологических установок классической физики. Кардинальные изменения в системе методологических установок релятивистской физики связаны с выявлением зависимости описания поведения физических объектов от условий познания (учет состояния движения систем отсчета при признании постоянства скорости света в вакууме). Произошло изменение гносеологической позиции субъекта и объекта - появилась необходимость указания на ту систему отсчета, с позиций которой описывается исследуемая физическая область. Создание квантовой механики привело к еще более значительному пересмотру методологических принципов классической физики: введение нового класса принципиально статистических закономерностей; невозможность провести резкую границу между объектом и прибором и введение принципа дополнительности; невозможность одновременного определения всех свойств микрообъекта (принцип неопределенности); ненаглядный характер теоретических моделей, неоднозначность употребления понятий, необходимость указывать на условия познания и др.

Рассмотрим в систематическом виде методологические установки неклассической физики.

1.Признание объективного существования физического мира, т.е. его существования до и независимо от человека и его сознания.

2. В отличие от классической физики, которая рассматривала мир физических элементов как качественно однородное образование, современная физика приходит к выводу о наличии трех качественно различающихся структурных уровней мира физических элементов: микро-, макро- и мага- уровней.

3. Явления микромира, микропроцессы обладают чертами целостности, необратимости и неделимости, которые приводят к качественному изменению представлений о характере взаимосвязи объекта и экспериментальных средств исследования.

4. Причинность как один из элементов всеобщей связи и взаимообусловленности вещей, явлений, событий материального мира присуща и микропроцессам. Но характер причинной связи в микромире отличен от механистического детерминизма. *В области микроявлений причинность реализуется через многообразие случайностей, и потому микропроцессам свойственны не динамические, а статистические закономерности.*

5. Микроявления принципиально познаваемы. Получение полного и непротиворечивого описания поведения микрочастиц требует выработки нового способа познания и новых методологических установок познания.

6. Основа познания - эксперимент, непосредственное материальное взаимодействие между средствами исследования субъекта и объектом. Так же, как и в классической физике, исследователь свободен в выборе условий эксперимента.

7. Кардинальные изменения в методологии неклассической физики по сравнению с классической физикой связаны с выявлением *зависимости описания поведения физической объектов от определенных условий познания*. В релятивистской физике - это учет состояния движения систем отсчета при признании постоянства скорости света в вакууме. В квантовой физике - фундаментальная роль взаимодействия между микрообъектом и измерительным устройством, прибором. Речь здесь идет об изменении познавательного отношения субъекта и объекта. В квантовой физике она разрешается принципом дополнительности.

8. Если в классической физике все свойства объекта могут определяться одновременно, то уже в квантовой физике существуют принципиальные ограничения в этом, выражаемые *принципом неопределенности.*

9. Неклассические способы описания позволяют получать объективное описание природы. Но *объективность знания не должна отождествляться с наглядностью.* Создание механической наглядной модели вовсе не выступает синонимом адекватного физического объяснения исследуемого явления.

10. Физическая теория должна содержать в себе не только средства для описания поведения познаваемых объектов, но также и средства для описания условий познания, включая процедуры исследования.

11. В неклассической физике, как и в классической, игнорируется атомная структура экспериментальных устройств.

12. Структура процесса познания не является неизменной. Качественному многообразию природы должно соответствовать и многообразие способов ее познания. На основе неклассических способов познания (релятивистскому и квантовому) со временем должны сформироваться новые способы познания.

Во второй половине ХХ века основное внимание в физике обращено на создание теорий, раскрывающих с позиций квантово-релятивистских представлений сущность и основания единства четырех фундаментальных взаимодействий - электромагнитного, "сильного", "слабого" и гравитационного. Эта задача одновременно является и задачей создания единой теории элементарных частиц (теории структуры материи). На основе представления о различных калибровочных симметриях созданы и получили хорошее эмпирическое обоснование квантовая электродинамика, теория электрослабого взаимодействия, квантовая хромодинамика (теория сильного взаимодействия), есть перспективы на создание единой теории электромагнитного, "слабого" и "сильного" взаимодействий. Физики ожидают, что в отдаленной перспективе к ним должно быть присоединено и гравитационное взаимодействие, о природе которого высказываются разные точки зрения (искривление пространства-времени, некоторое силовое поле с гравитоном как его квантом, и то и другое вместе, и др.). Трудно сказать, как далеко находится наука от реализации этой великой цели - создания единой теории структуры материи.

**Список литературы**

Азимов А. Краткая история биологии. М.,1967.

Алексеев В.П. Становление человечества. М.,1984. Бор Н. Атомная физика и человеческое познание. М.,1961 Борн М. Эйнштейновская теория относительности.М.,1964.

Вайнберг С. Первые три минуты. Современный взгляд на происхождение Вселенной. М.,1981.

Гинзбург В.Л.О теории относительности. М.,1979.

Дорфман Я.Г. Всемирная история физики с начала 19 века до середины 20 века. М.,1979.

Кемп П., Армс К. Введение в биологию. М.,1986.

Кемпфер Ф. Путь в современную физику. М.,1972.

Либберт Э. Общая биология. М.,1978 Льоцци М. История физики. М.,1972.

Моисеев Н.Н. Человек и биосфера. М.,1990.

Мэрион Дж. Б. Физика и физический мир. М.,1975

Найдыш В.М. Концепции современного естествознания. Учебное пособие. М.,1999.

Небел Б. Наука об окружающей среде. Как устроен мир. М.,1993.

Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. М.,1990.

Пригожин И.,Стенгерс И. Порядок из хаоса. М.,1986.

Пригожин И., Стенгерс И. Время, Хаос и Квант. М.,1994.

Пригожин И. От существующего к возникающему. М.,1985.

Степин В.С. Философская антропология и философия науки. М.,1992.

Фейнберг Е.Л. Две культуры. Интуиция и логика в искусстве и науке. М.,1992.

Фролов И.Т. Перспективы человека. М.,1983.