**РЕФЕРАТ**

**по курсу "Концепции современного естествознания"**

**по теме: "Принципы относительности"**

**1. Принцип относительности Галилея**

Принцип инерции Галилея выделяет определенный класс систем отсчета, которые называют инерциальными. Инерциальными являются системы отсчета, в которых выполняется принцип инерции (первый закон Ньютона). Общепринятая формулировка первого закона Ньютона такова: "Существуют системы отсчета, относительно которых всякое тело сохраняет состояние своего движения (состояние покоя или равномерного прямолинейного движения), пока действие всех тел и полей на него компенсировано". Если мы имеем хотя бы одну такую инерциальную систему отсчета, то всякая другая система отсчета, которая движется относительно первой равномерно и прямолинейно, также является инерциальной. Все другие системы отсчета называются неинерциальными. Оговоримся прежде всего, что под системой отсчета понимается тело отсчета, относительно которого рассматривается движение, связанная с телом отсчета система координат (например, декартова система координат, состоящая из трех взаимоперпендикулярных пространственных координатных осей), и заданный способ определения времени.

Тот факт, что ускорения тел относительно обеих инерциальных систем отсчета одинаковы, позволяет сделать вывод о том, что законы механики, определяющие причинно-следственные связи движения тел, одинаковы во всех инерциальных системах отсчета. И это составляет суть принципа относительности Галилея: "Во всех инерциальных системах отсчета все физические явления происходят одинаково".

Мы намеренно в формулировке употребили более широкое определение, говоря обо всех физических явлениях, хотя первоначально принцип относительности Галилея относился лишь к механическим явлениям. Однако не следует забывать, что существующая вплоть до XX века механистическая картина мира ставила своей задачей сведение всех физических явлений к механическим. А развитие физики нашего столетия распространило принцип относительности Галилея на все физические явления.

Попробуем критически взглянуть на проделанные нами процедуры при получении преобразований Галилея. Беря производные по времени от кинематических параметров, мы рассматривали изменения этих величин за бесконечно маленькие промежутки времени. При этом нам представлялось само собой разумеющимся, что эти бесконечно маленькие промежутки времени, равно как и любые промежутки времени, одинаковы в обеих системах отсчета. Желая описать движение какого-либо тела, то есть получить уравнений зависимости координат тела от времени, мы некритически оперируем понятием времени. И так было вплоть до создания теории относительности Эйнштейна. Все наши суждения, в которых время играет какую-либо роль, всегда являются суждениями об одновременных событиях. А отсюда — два следствия, неявно присутствующие в наших рассуждениях: во-первых, что "правильно идущие часы" идут синхронно в любой системе отсчета; во-вторых, что временные интервалы, длительность событий одинакова во всех системах отсчета.

Иными словами, мы пользуемся ньютоновским истинным математическим временем, протекающим независимо от чего-либо, независимо от движения.

Рассмотрим теперь неинерциальные системы отсчета. Система отсчета, которая движется относительно инерциальной системы отсчета с ускорением, является неинерциальной. Как следует из принципа относительности Галилея, никакими опытами, проведенными в инерциальной системе отсчета, невозможно установить, покоится ли она или движется равномерно или прямолинейно, то есть движение инерциальной системы отсчета не влияет на ход протекающих в ней физических процессов. В неинерциальных системах отсчета это не так: всякое ускорение системы сказывается на происходящих в ней явлениях. Таким образом, на неинерциальные системы отсчета принцип относительности Галилея не распространяется, и законы Ньютона в них не выполняются. Можно попытаться использовать законы Ньютона для описания движения тел и в неинерциальных системах отсчета. Для этого вводят дополнительные силы — силы инерции, равные произведению массы тела на ускорение системы отсчета, но при этом направленные противоположно ускорению системы отсчета.

**2. Принцип наименьшего действия**

В XVIII веке происходит дальнейшее накопление и систематизация научных результатов, отмеченные тенденцией объединения отдельных научных достижений в строго упорядоченную, связную картину мира с помощью систематического применения методов математического анализа к исследованию физических явлений. Работа многих блестящих умов в этом направлении привела к созданию базисной теории механистической исследовательской программы — аналитической механики, на основе положений которой были созданы различные фундаментальные теории, описывающие конкретный класс конкретных явлений: гидродинамика, теория упругости, аэродинамика и т. д. Одним из важнейших результатов аналитической механики является принцип наименьшего действия (вариационный принцип), имеющий важное значение для понимания процессов, происходящих в физике конца XX века.

Корни возникновения вариационных принципов в науке уходят в Древнюю Грецию и связаны с именем Герона из Александрии. Идея любого вариационного принципа состоит в том, чтобы варьировать (изменять) некоторую величину, характеризующую данный процесс, и отбирать из всех возможных процессов тот, для которого данная величина принимает экстремальное (максимальное или минимальное) значение. Герон попытался объяснить законы отражения света, варьируя величину, характеризующую длину пути, проходимым лучом света от источника к наблюдателю при отражении его от зеркала. Он пришел к выводу, что из всех возможных путей луч света выбирает кратчайший (из всех геометрически возможных).

В XVII веке, спустя две тысячи лет, французский математик Ферма обратил внимание на принцип Герона, распространил его для сред с различными показателями преломления, переформулировав его в связи с этим в терминах времени. Принцип Ферма гласит: в преломляющей среде, свойства которой не зависят от времени, световой луч, проходя через две точки, выбирает себе такой путь, чтобы время, необходимое ему для прохождения от первой точки ко второй, было минимальным. Принцип Герона оказывается частным случаем принципа Ферма для сред с постоянным коэффициентом преломления.

Принцип Ферма привлек пристальное внимание современников. С одной стороны, он как нельзя лучше свидетельствовал о "принципе экономии" в природе, о рациональном божественном замысле, реализованном в устройстве мира, с другой — он противоречил ньютоновской корпускулярной теории света. Согласно Ньютону получалось, что в более плотных средах скорость света должна быть больше, в то время как из принципа Ферма вытекало, что в таких средах скорость света становится меньшей.

В 1740 году математик Пьер Луи Моро де Мопертюи, критически анализируя принцип Ферма и следуя теологическим мотивам о совершенстве и наиболее экономном устройстве Вселенной, провозгласил в работе "О различных законах природы, казавшихся несовместимыми" принцип наименьшего действия. Мопертюи отказался от наименьшего времени Ферма и ввел новое понятие — действие. Действие равняется произведению импульса тела (количества движения Р = mV) на пройденный телом путь. Время не имеет какого-либо преимущества перед пространством, равно как и наоборот. Поэтому свет выбирает не кратчайший путь и не наименьшее время для его прохождения, а согласно Мопертюи, "выбирает путь, дающий более реальную экономию: путь, по которому он следует, — это путь, на котором величина действия минимальна" . Принцип наименьшего действия в дальнейшем был развит в работах Эйлера и Лагранжа; он явился основой, на которой Лагранж развил новую область математического анализа — вариационное исчисление. Дальнейшее обобщение и завершенную форму этот принцип получил в работах Гамильтона. В обобщенном виде принцип наименьшего действия использует понятие действия, выраженного не через импульс, а через функцию Лагранжа. Для случая одной частицы, движущейся в некотором потенциальном поле, функция Лагранжа может быть представлена как разность кинетической и потенциальной энергии:

L = Eкин.— Епот.

Уравнения движения частицы могут быть получены с помощью принципа наименьшего действия, согласно которому реальное движение происходит так, что действие оказывается экстремальным, то есть его вариация обращается в 0.

Вариационный принцип Лагранжа — Гамильтона легко допускает распространение на системы, состоящие из нескольких (множества) частиц. Движение таких систем обычно рассматривают в абстрактном пространстве (удобный математический прием) большого числа измерений. Скажем, для N точек вводят некоторое абстрактное пространство 3N координат N частиц, образующих систему, называемую конфигурационным пространством. Последовательность различных состояний системы изображается кривой в этом конфигурационном пространстве — траекторией. Рассматривая все возможные пути, соединяющие две заданные точки этого трехмерного пространства, можно убедиться, что реальное движение системы происходит в соответствии с принципом наименьшего действия: среди всех возможных траекторий реализуется та, для которой действие экстремально по всему интервалу времени движения.

При минимизации действия в классической механике получают уравнения Эйлера — Лагранжа, связь которых с законами Ньютона хорошо известна. Уравнения Эйлера — Лагранжа для лагранжиана классического электромагнитного поля оказываются уравнениями Максвелла. Таким образом, мы видим, что использование лагранжиана и принципа наименьшего действия позволяет задавать динамику частиц. Однако лагранжиан обладает еще одной важной особенностью, что и сделало лагранжев формализм основным в решении практически всех задач современной физики. Дело в том, что наряду с ньютоновской механикой в физике уже в XIX веке были сформулированы законы сохранения для некоторых физических величин: закон сохранения энергии, закон сохранения импульса, закон сохранения момента импульса, закон сохранения электрического заряда. Число законов сохранения в связи с развитием квантовой физики и физики элементарных частиц в нашем столетии стало еще больше. Возникает вопрос, как найти общую основу для записи как уравнений движения (скажем, законов Ньютона или уравнений Максвелла), так и сохраняющихся во времени величин. Оказалось, что такой основой является использование лагранжева формализма, ибо лагранжиан конкретной теории оказывается инвариантным (неизменным) относительно преобразований, соответствующих конкретному рассматриваемому в данной теории абстрактному пространству, следствием чего и являются законы сохранения. Эти особенности лагранжиана привели к целесообразности формулировки физических теорий на языке лагранжианов. Осознание этого обстоятельства пришло в физику благодаря возникновению теории относительности Эйнштейна.

**3. Специальная теория относительности А. Эйнштейна**

Развитие физики XIX века, казалось бы, не предвещало каких-либо резких поворотов, хотя по многим вопросам ученые не были столь уж единодушны. Это касается и той критики, которой были подвергнуты понятия и принципы ньютоновской механики со стороны многих ученых, особенно со стороны Эрнеста Маха и Анри Пуанкаре; и споры между сторонниками атомистической теории строения вещества и их оппонентами; тревогу вызывало противоречие между результатами опытов Майкельсона и Физо и явлением аберрации света; до конца не была понята природа теплового излучения. Здесь имело место резкое расхождение экспериментальных данных с теоретическими, результаты которых базировались на представлениях классической электродинамики Максвелла и классической термодинамики. Но в целом положение дел казалось очень хорошим. Это настроение ученых-физиков на рубеже XIX-XX веков как нельзя лучше выразил Дж. Томсон, высказавший мнение о том, что здание физики практически построено, не хватает лишь нескольких деталей: на ясном небосклоне имеются только два облачка. По прошествии века мы с уверенностью можем констатировать, что из этих, на первый взгляд, довольно-таки безобидных облачков не только выросла вся современная физика: первое облачко дало впоследствии жизнь теории относительности, а второе облачко — квантовой механике, но и поставленные этими теориями проблемы еще далеки от завершения. Так что работы хватит и на следующие столетия.

Первое омрачающее общую умиротворяющую картину облачко Томсон связывал с отрицательным результатом опыта Майкельсона. Кроме этого, однако, существовало еще одно чрезвычайно смущающее физиков обстоятельство: оказалось, что уравнения Максвелла, описывающие электромагнитное поле, оказываются неинвариантными при переходе из одной инерциальной системы в другую относительно преобразований Галилея. Следует сказать, что именно эта неинвариантность и побудила новый всплеск концепций с принятием эфира, и в конечном счете — опыт Майкельсона. Несмотря на то, что сам Максвелл признавал существование эфира, электромагнитная теория Максвелла не требует существования эфира как такового. Электромагнитные колебания полностью описываются с помощью силовых характеристик электрического и магнитного полей. Тем самым, теория Максвелла вводит в рассмотрение понятие поля как исходного понятия в физике, наряду с веществом, и ослабляет значение эфира в теории. Однако тот факт, что уравнения Максвелла не удовлетворяли принципу относительности, вновь вызвал к жизни концепцию эфира как некоторой среды такой, что уравнения Максвелла справедливы только в одной, связанной с этой средой системе отсчета. Различный спектр мнений и предложений, возникших в связи с вышеуказанной коллизией "неподчинения уравнений Максвелла механическому принципу относительности", можно выразить тремя основными точками зрения. Согласно первой точке зрения, следует отказаться от уравнений Максвелла или внести в них необходимые поправки, лишь бы сделать их инвариантными относительно галилеевых преобразований. Однако уравнения Максвелла демонстрировали высочайшую степень совпадения теории с экспериментом, а все вносимые поправки оказывались неподтверждаемыми. Вторая точка зрения отстаивалась А. Пуанкаре и Г. Герцем, считавшими принцип относительности обязательным для описания не только механических явлений, но и электромагнитных. В 1890 году Герц принимает гипотезу, высказанную ранее Стоксом, о существовании эфира, полностью увлекающегося движущимися телами. Исходя из этих принципов, он находит уравнения, инвариантные по отношению к галилеевым преобразованиям координат и времени при переходе от одной инерциальной системы отсчета в другую. В частном случае покоящегося тела эти уравнения переходят в уравнения Максвелла. Герц получил "наиболее очевидное обобщение теории Максвелла на случай движущихся тел, но оно оказалось несовместимым с результатом эксперимента", ибо противоречило эксперименту Физо по распространению света в движущейся жидкости.

И, наконец, третья точка зрения, отстаиваемая Лоренцем. Известно, что Лоренц являлся сторонником атомной теории строения вещества, а после открытия в 1897 году Томсоном отрицательно заряженной частицы — электрона, он создал теорию, в которой уравнения Максвелла включают в себя идею о дискретной структуре электричества. При этом Лоренц использует гипотезу эфира, рассматривая электромагнитное поле как свойство эфира, противопоставляя его состоящему из электрически заряженных частиц веществу. Лоренцу удалось всю электродинамику покоящихся и движущихся тел свести к уравнениям Максвелла, дать на этой основе объяснение большому числу экспериментальных фактов. Но при этом он вводит абсолютно покоящуюся выделенную среди прочих систему отсчета, связанную с неподвижным эфиром, в которой только и выполняются уравнения Максвелла. Таким образом, точка зрения, отстаиваемая Лоренцем, говорила о несостоятельности самого принципа относительности. На место абсолютного пустого неподвижного ньютоновского пространства он ставит абсолютное тело отсчета — неподвижный эфир, то есть вводит привилегированную систему отсчета. Однако все имеющиеся опытные данные говорили в пользу принципа относительности, в том числе и опыт Майкельсона свидетельствовал в пользу эквивалентности всех инерциальных систем отсчета, кроме этого он устанавливал факт постоянства скорости света в любой системе отсчета. А. Эйнштейн писал, что "специальная теория относительности обязана своим происхождением этой трудности, которая, ввиду ее фундаментального характера, казалась нетерпимой". Следует сказать, что Лоренц (и ряд других физиков, среди которых Лармор, Фицджеральд и др.) предпринимал многочисленные попытки, пытаясь согласовать отрицательный результат опыта Майкельсона с идеей абсолютной системы отсчета. В том числе была выдвинута гипотеза о сокращении линейных размеров тел в направлении их движения относительно эфира. При этом Лоренц и Фицджеральд считали, что тела действительно сокращают свои размеры в направлении движения. Это сокращение должно было полностью компенсировать влияние относительного движения на скорость распространения света, почему и казалось, что скорость света остается постоянной во всех инерциальных системах отсчета. Несмотря на то, что высказанная гипотеза выглядела очень искусственной и оказалась неверной, как это выяснилось впоследствии, она привела к нахождению уравнений преобразований кинематических параметров, отличных от преобразований Галилея, которые называют уравнениями Лоренца.

Итак, из преобразований Лоренца следовало, что пространственные и временные интервалы оказываются неинвариантными при переходе из одной системы отсчета в другую. Возникла ситуация, в которой потребовались глубокий анализ и критика имеющихся представлений о пространстве и времени, на основании которых удалось бы выяснить причины, по которым преобразования Галилея заменяются преобразованиями Лоренца. Это и было сделано А. Эйнштейном в его вышедшей в свет в 1905 году работе "К электродинамике движущихся сред". Свою статью Эйнштейн начинает с двух предположений, которые в современной науке именуются постулатами теории относительности, которые он рассматривает как предпосылки для того, чтобы, "положив в основу теорию Максвелла для покоящихся тел, построить простую, свободную от противоречий электродинамику движущихся сред".

Постулаты теории относительности

1. Принцип относительности: все законы природы одинаковы во всех инерциальных системах отсчета.

Лоренц отмечал по этому поводу; "Заслуга Эйнштейна состоит в том, что он первый высказал принцип относительности в виде всеобщего, строго и точно действующего закона". Следует отметить, что точки зрения об универсальности принципа относительности придерживался также А. Пуанкаре.

2. Принцип постоянства скорости света: скорость света в пустоте одинакова во всех инерциальных системах отсчета и не зависит от движения источников и приемников света.

В любом случае, увлекался бы эфир движущимися телами или не увлекался бы, скорость света относительно различных инерциальных систем отсчета должна была оказаться различной. Если бы эфир увлекался движущимися телами, то скорость света относительно внешней неподвижной системы отсчета должна быть другой, чем известное значение С. Если же эфир не увлекается движущимися телами, то должна меняться скорость света относительно системы отсчета, движущейся вместе с источником света. Отрицательный результат опыта Майкельсона как раз и состоит в том, что скорость света оказывалась одинаковой по отношению к обеим системам отсчета. Положив за основу теории этот экспериментальный факт, Эйнштейн говорит о том, что введение "светоносного эфира" окажется при этом излишним, "поскольку в предлагаемую теорию не вводится "абсолютно покоящееся пространство", наделенное особыми свойствами. Скорость же света в пустоте не зависит от системы отсчета и является максимальной (верхней границей) для скорости распространения сигналов.

Исходя из постоянства скорости света, Эйнштейн подвергает критическому анализу традиционное понятие времени. Ньютоновское понятие абсолютного, универсального, равномерно текущего времени твердо укоренилось в представлениях физиков и казалось незыблемым. Следствием этого явилось некритически используемое в ньютоновской механике представление об одновременности событий. Критику абсолютного времени Ньютона Эйнштейн начинает с рассмотрения понятия одновременности двух событий, обращая особое внимание на тот факт, "что все наши суждения, в которых время играет какую-либо роль, всегда являются суждениями об одновременных событиях". Пусть в некоторой точке пространства А помещены часы, и наблюдатель, находящийся в точке А, может устанавливать время событий в непосредственной близости от А путем наблюдения одновременных с этими событиями положений стрелок часов. Пусть в другой точке пространства В помещены такие же точно часы, как в точке А, тогда в непосредственной близости от В тоже возможна временная оценка событий находящимся в В наблюдателем. Но при этом определяется только "А-время" и "В-время", но не общее для А и В "время". В классической механике принимается, что одновременность двух событий может быть установлена путем переноса часов из точки А в точку В, при этом считается, что движение часов никаким образом не должно сказываться на их ходе. Эйнштейн указал на неочевидность последнего утверждения, на неправомерность принятия его априори. Поскольку не существует физических явлений, распространяющихся мгновенно, то без определенных предположений невозможно сравнивать во времени какое-либо событие, происходящее в А, с событием, происходящим в В. Часы в А и В будут идти синхронно, если принять, что время для прохождения света из точки А в точку В равно времени для прохождения сигнала из точки В в точку А:

Если при этом предположить, что скорость света одинакова по всем направлениям, то сумма этих времен, умноженная на скорость света, должна равняться удвоенному расстоянию от точки А до точки В. Установив, что следует понимать под синхронно идущими в разных точках пространства покоящимися часами, Эйнштейн дает определения понятий одновременности и времени. Но установленная таким образом одновременность событий в одной системе отсчета не будет верна в другой, движущейся по отношению к первой. Если один наблюдатель считает одновременными два события, которые пространственно разобщены, в той системе отсчета, относительно которой он неподвижен, то другой наблюдатель, участвующий в равномерном прямолинейном движении относительно первой системы отсчета, не считает их одновременными. Так что одновременность становится понятием относительным, зависящим от наблюдателя. Таким образом, следует говорить о собственном времени каждой системы отсчета. Универсальное абсолютное ньютоновское время должно уступить место бесчисленным собственным временам различных систем отсчета. Этот, на первый взгляд, парадоксальный вывод является следствием того, что невозможно синхронизировать часы с помощью сигналов, распространяющихся со скоростью, превышающей скорость света. Наше же обыденное представление о времени, совпадающее с представлением об универсальном ньютоновском времени, — следствие того, что мы живем в мире малых скоростей, неосознанно пользуясь при этом информационными волнами, распространяющимися со скоростями, сравнимыми со скоростью света. Если бы скорость электромагнитных волн была бы порядка обычных для нашего сознания скоростей, то гораздо раньше встал бы вопрос об одновременности событий в различных точках пространства. Эйнштейн показал, что в основе преобразований Галилея как раз и лежит произвольное допущение о том, что понятие одновременности имеет смысл независимо от состояния движения используемой системы координат.

Рассуждая таким образом и используя два указанных выше принципа (постулаты теории относительности), Эйнштейн математически вывел лоренцево сокращение движущихся тел при их наблюдении из покоящейся системы, при условии, что скорость движущегося тела V<C. Следствием лоренцева сокращения является эффект замедления времени. То же обстоятельство, что длительности событий различны в различных системах отсчета, приводит к замене галилеева правила сложения скоростей релятивистским законом сложения скоростей. Из релятивистского закона сложения скоростей следует, что сложение скорости света со скоростью источника дает во всех случаях опять-таки скорость света, тем самым скорость света в пустоте — максимальная скорость передачи взаимодействий в природе. Следует сказать, что интерпретация результатов опыта Физо без привлечения гипотезы эфира с использованием релятивистского закона сложения скоростей дает блестящее совпадение теории с экспериментом. Таким образом, изменение понятий о пространстве и времени приводит в специальной теории относительности к изменению основных принципов кинематики. Не случайно специальную теорию относительности называют кинематическим нововведением в физику. Новая кинематика, к которой пришел Эйнштейн при анализе понятий пространства и времени, совпала с преобразованиями, полученными ранее Лоренцом. Однако Эйнштейн наполняет преобразования Лоренца новым физическим содержанием. Так, если Лоренц рассматривал сокращение линейных размеров движущихся тел как действительное сокращение по отношению к неподвижному эфиру, то Эйнштейн рассматривает это сокращение как кажущееся для наблюдателя, относительно которого тело движется. Сокращение линейных размеров тел и замедление длительности временных интервалов — это следствие различных процессов измерения, которыми пользуются различные наблюдатели в различных системах отсчета. "Вопрос о том, реально лоренцово сокращение или нет, не имеет смысла, — писал Эйнштейн. — Сокращение не является реальным, поскольку оно не существует для наблюдателя, движущегося вместе с телом; однако оно реально, так как оно может быть принципиально доказано физическими средствами для наблюдателя, не движущегося вместе с телом". Итак, два постулата принципа относительности должны быть дополнены преобразованиями Лоренца. Чтобы принцип относительности мог выполняться, необходимо, чтобы все законы физики не изменяли своего вида, были инвариантны при переходе из одной инерциальной системы отсчета в другую относительно преобразований Лоренца. Это одно из первых следствий, вытекающих из постулатов теории относительности, устанавливающее критерий включения физического закона в релятивистскую схему. Эйнштейн показал также, что преобразования Лоренца переходят в преобразования Галилея при скоростях V" С, тем самым устанавливая границы применимости классической механики для мира малых скоростей.

Преобразования Галилея основывались на гипотезе о полной независимости времени и пространства. Это приводило к тому, что пространственные и временные интервалы рассматривались по отдельности неизменными при переходе из одной системы отсчета в другую.

Независимо от этого двум событиям ставился в соответствие временной интервал dt, также не зависящий от системы отсчета. Однако специальная теория относительности в корне изменяет сложившийся взгляд. Из самого вида преобразований Лоренца отчетливо видно, что пространственные и временные координаты больше не могут быть рассмотрены независимо. Г. Минковский, исходя из положения, что пространство и время — понятия, неотделимые друг от друга, предложил математический формализм, запись в котором физического закона приводит к его инвариантности относительно преобразований Лоренца. Формализм Минковского использует представление о четырехмерном мире, четырехмерном пространственно-временном континууме, в котором время по своему месту в физических уравнениях эквивалентно трем пространственным координатам.

Специальная теория относительности — теория, которая решает две основные задачи: во-первых, приспосабливает пространственно-временную метрику к уравнениям Максвелла. Это приводит к выработке новой "метрики" пространства-времени, где на смену евклидовой метрики, в которой пространства и время рассматриваются независимыми друг от друга и в которой пространственные и временные масштабы сохраняют неизменность по отдельности друг от друга в различных системах отсчета, приходит видоизмененная метрика, с пространственно-временным континуумом, называемым псевдоевклидовым пространством Минковского, в котором время эквивалентно пространственным координатам, играет роль четвертого измерения в этом континууме и в котором инвариантным относительно преобразований Лоренца является четырехмерный мировой интервал. И, во-вторых, применение этой новой "метрики" ко всей физики.

В дальнейшем все известные физические законы были записаны в четырехмерном формализме Минковского, что привело к созданию новой релятивистской (relativ — относительный) физической исследовательской программы, пришедшей на смену механистической исследовательской программе.

Все упомянутые выше законы сохранения впоследствии были рассмотрены как следствия инвариантности лагранжиана при поворотах в четырехмерном континууме.

**4. Элементы общей теории относительности**

Благодаря специальной теории относительности в физике создается новый взгляд на характер физических законов, "наисовершеннейшим выражением которых считается теперь их инвариантное выражение". Несмотря на революционность специальной теории относительности, приведшей к коренному изменению наших представлений о пространстве и времени, тем не менее, возникает чувство некоторой незавершенности теории. И связано это с тем, что специальная теория относительности так же, как и классическая механика, сохраняет привилегированное положение наблюдателей, находящихся в инерциальных системах отсчета. А как быть с наблюдателями, находящимися в системах отсчета, движущихся по отношению к первым с ускорением (в неинерциальных системах отсчета)? Чем объясняется неинвариантность законов физики в неинерциальных системах отсчета? Правомерно ли это? Подобное положение дел казалось неудовлетворительным. Эйнштейн, повторяя вопрос Э. Маха: "Почему инерциальные системы физически выделены относительно других систем отсчета?", первым обращает внимание на то, что специальная теория относительности (СТО) не дает на него ответа. Следующая проблема возникла при попытке представить в рамках СТО тяготение. Оказалось, что тяготение укладывается в рамки специальной теории относительности только в том случае, если потенциал гравитационного поля постоянен. Если же гравитационное поле переменно, то глобальная лоренц-инвариантность, в основе которой лежит однородность всех точек пространства, не работает. Эйнштейном была выяснена причина этого: она состоит в том, что не только инертная масса зависит от энергии, но и гравитационная. Галилеем был установлен закон, согласно которому все тела падают, при отсутствии сопротивления среды, с одинаковым ускорением. Это является следствием равенства инертной и гравитационной (весомой) массы. Равенство инертной и гравитационной массы соблюдается с точностью выше одной двадцатимиллионной, что было показано в серии весьма точных опытов, проделанных Р. Этвешем. Тем не менее, это равенство не получило объяснения в физической теории. В 1908 году Эйнштейн доказывает, что каждому количеству энергии в гравитационном поле соответствует энергия, по величине равная энергии инертной массы величиной Е/с2, и делает вывод о том, что закон этот выполняется не только для инертной, но и для гравитационной массы. Рассматривая факт равенства инертной и гравитационной массы, Эйнштейн приходит к выводу о том, что гравитационное поле (в котором проявляется гравитационная масса) эквивалентно ускоренному движению (в котором проявляется масса инертная.) и формулирует принцип эквивалентности, который и был положен в основу создания общей теории относительности: "Факт равенства инертной и весомой массы или, иначе, тот факт, что ускорение свободного падения не зависит от природы падающего вещества, допускает и иное выражение. Его можно выразить так: в поле тяготения (малой пространственной протяженности) все происходит так, как в пространстве без тяготения, если в нем вместо "инерциальной" системы отсчета ввести систему, ускоренную относительно нее".

Принцип эквивалентности Эйнштейн называл "счастливейшей мыслью в моей жизни". Как уже отмечалось, попытки включения тяготения в специальную теорию относительности наталкивались на серьезные трудности, так как в этом случае не работает глобальная лоренц-инвариантность. Эйнштейн приходит к выводу о том, что главная задача состоит не в том, как включить тяготение в СТО, а в том, как использовать тяготение для обобщения требования инвариантности к любым типам движения, в том числе и ускоренным. Оказалось, что тяготение не может быть полностью заменено ускорением (гравитационные силы — силами инерции) в больших областях с неоднородным гравитационным полем. Сведение гравитационного поля к ускоренным системам отсчета требует ограничения принципа эквивалентности бесконечно малыми масштабами. Иными словами, принцип эквивалентности имеет локальное значение. Локальный характер принципа эквивалентности приводит к представлениям о мире, отличном от плоского евклидова пространства, для которого сумма углов треугольника всегда равно 180 градусов. Это мир — с кривизной пространственно-временного континуума. Случилось так, что в математике уже были развиты теории неевклидовой дифференциальной геометрии — теория Лобачевского и теория Римана. В общей теории относительности инвариантность физических законов в системах отсчета, в которых действуют гравитационные силы (или которые являются неинерциальными), достигается относительно локальных преобразований в римановом четырехмерном пространстве-времени положительной кривизны. Иными словами, гравитационное поле может интерпретироваться как следствие искривления пространства.

Итак, в результате восьмилетних размышлений над природой тяготения (с 1907 по 1915 год) Эйнштейн в полемике и при поддержке ряда крупных физиков и математиков пришел к созданию общей теории относительности — теории, распространяющей принцип относительности на любые системы отсчета и в то же время представляющей из себя более общую теорию тяготения, содержащую в себе теорию тяготения Ньютона как предельный случай.

Специальная теория относительности имеет глубокое экспериментальное подтверждение и является мощным аппаратом в ядерной физике и физике элементарных частиц. Следует отметить существовавший в ряду физиков скепсис по поводу возможной экспериментальной проверяемости общей теории относительности, который, однако, просуществовал недолго. Первое экспериментальное подтверждение теории состояло в объяснении аномального движения планеты Меркурий, чего не удавалось сделать на основе теории Ньютона. Меркурий — это наиболее близкая Солнцу планета. Согласно общей теории относительности, эллиптическая траектория движения планет должна медленно поворачиваться вокруг Солнца. Леверрье было открыто вековое вращение орбиты Меркурия, составляющее около 45" в столетие (ясно, что для остальных планет оно еще меньшее). Результат этот не согласовывался с расчетами, полученными на основе ньютоновского закона всемирного тяготения. Результаты расчета по общей теории относительности продемонстрировали полное совпадение с данными астрономических наблюдений. Далее, следствием теории является более сильное (в два раза большее) искривление светового луча гравитационным полем, нежели это было получено из опытов, проведенных Зольденером в 1804 году. Экспедиции, наблюдавшие солнечные затмения 29 мая в 1919 году и 21 сентября 1921 года обнаружили, что искривление света близко к значению, предсказываемому общей теории относительности. И, наконец, третий экспериментальный результат не только соответствовал теории, но и дал мощный импульс для развития на базе общей теории относительности науки о происхождении и эволюции Вселенной — космологии. Речь идет об открытии в 1929 году Хабблом смещения спектральных линий излучения звезд в сторону красного света, так называемое "красное смещение", свидетельствующее о том, что Вселенная, в которой мы обитаем, не статична, а расширяется, так что всевозможные галактики разбегаются. Несколько ранее, в 1922-1924 годах, А. Фридманом были получены решения общей теории относительности для нестационарной Вселенной, расширяющейся в настоящую эпоху, что и было экспериментально подтверждено открытием Хаббла.

Современные космологические модели еще более развивают представления о пространстве-времени нашей Вселенной. Здесь ставятся вопросы о том, почему пространство мира, в котором мы живем, трехмерно? Возможна ли жизнь нашего типа в пространстве с большим числом измерений? Что представляет собой пространство в масштабах порядка 10~33 см? Каковы его метрика и топология? Как связаны между собой известные типы физических взаимодействий и пространственно-временная структура нашей Вселенной? Эти и другие вопросы будут рассмотрены в следующих главах этой книги. Ведь, по существу, вопрос о пространстве и времени известного мира — это вопрос всей современной науки. Вот почему он не укладывается в размер одной главы, а требует ознакомления с другими важными разделами физики.

В настоящей главе часто упоминается понятие "энергия". Поэтому мы позволим себе перелистать странички истории назад и рассмотреть, как это фундаментальное понятие вошло в структуру физической науки, чему и посвящена следующая глава книги.

**Список литературы**

1. Чанышев А.Н. Курс лекций по древней философии. М., 2008

2 Азерников В.З. Неслучайные случайности. Рассказы о великих открытиях и выдающихся ученых. М., 2006

3. Юкава X. Лекции по физике. М., 2006

4. Александров Г.Ф. Концепции современного естествознания. М., 2007

5. Кудрявцев П.С. Современное естествознание. Курс лекций. М., 2007