

ВВЕДЕНИЕ

Физика формирует основу естествознания, ведь ее цель — установление фундаментальных законов природы, поиск научных ответов на ключевые вопросы человечества о мироздании.

Время, пространство, материя, взаимодействие — основные физические понятия, представление о них рождает различные картины мира в умах человечества: от предсказуемости и фатализма до возможности существования параллельной Вселенной и изменения реальности силой мысли — ведь именно из физики берут начало различные модные философские учения.

В рамках данного курса будет освещена эволюция физических представлений о мире: от натурфилософии до современных научных теорий, расширяющих границы представления человечества о мире и его сотворении.

Глава I

ДВИЖЕНИЕ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В ФИЗИКЕ

Современные представления о природе можно свести к движению и взаимодействию материи. Существуют четыре (или скорее три) типа взаимодействия.

Гравитационное взаимодействие (гравитация) было открыто первым. Понятие силы было введено именно для объяснения гравитации. На сегодняшний день это взаимодействие изучено менее других, поскольку является самым слабым.

Электромагнитное взаимодействие изучено лучше других. В 1895 году английский физик Дж. Максвелл в одной из своих фундаментальных работ показал, что электростатическое и магнитное взаимодействия имеют одинаковую природу, поэтому есть смысл говорить об электромагнитном взаимодействии. Электрический заряд является квантовой характеристикой электромагнитного взаимодействия, и квантовая электродинамика хорошо описывает его свойства, все предсказанные ею явления надежно подтверждаются экспериментом.

Сильное взаимодействие является ответственным за устойчивость ядер, а также объясняет внутреннюю структуру нуклонов.

Слабое взаимодействие отвечает своему названию, так как его интенсивность слабее, чем у электромагнитного взаимодействия. Оно было открыто в процессе изучения β -распада, дальнейшие исследования показали, что оно является причиной распадов многих частиц. Принципиальным открытием является тот факт, что слабое и электромагнитное взаимодействия являются проявлением единого типа взаимодействия, которое называется электросильным.

1. Гравитационное взаимодействие

1.1. Натурфилософский этап

Начало развития теории гравитации можно отнести к временам древнегреческих ученых, которые первыми (из тех, чьи труды дошли до нас) пытались объяснить первоначально всех вещей. Важной особенностью взглядов большинства философов является их убежденность в том, что мир существует сам по себе и он непрерывно

меняется. Изменение мира проявляется прежде всего в таком важном явлении, как *механическое движение*. Объяснение причин того или иного движения было краеугольным камнем учений многих философов.

Наиболее полный анализ причин и видов движения сделал Аристотель в своем труде «Физика». Согласно Аристотелю мир делится на подлунный и надлунный. В надлунном мире совершается вечное, неизменное и непрерывное движение Солнца, Луны и небесного свода со звездами. Другой вид движения — прямолинейное движение — присущ подлунному миру, и это движение не может быть вечным, так как мир конечен. Для движения по горизонтальной поверхности любое тело нужно тянуть или толкать: «все движущееся приводится в движение чем-нибудь...». С гносеологической точки зрения учение Аристотеля о движении является тупиковым: он считал, что человек может изучить движение только в подлунном мире, который его, собственно, окружает и частью которого он является. А законы надлунного мира являются для человека недоступными. Таким образом, природа движения тел на земле отличается от природы движения планет, звезд и других космических тел. Такая точка зрения вполне устраивала церковные власти, поэтому учение Аристотеля было официально признанным в течение почти 2000 лет.

1.2. Гелиоцентрическая система

Следующим ученым, который внес существенный вклад в развитие научных представлений об окружающем мире, был Николай Коперник. Система Птолемея казалась Копернику чересчур сложной и громоздкой. Он понимал, что гармония требует более простого описания, чем теория Птолемея с ее нагромождением кругов. Идея Коперника, изложенная в книге «О вращении небесных сфер», основана на простой смене системы отсчета. С точки зрения математики, гелиоцентрическая система обладает тем неоспоримым преимуществом, что в ней движения всех небесных светил объясняются более простыми и понятными законами. Но это, по сути, геометрическое упрощение системы мира вызвало огромное раздражение церковных властей, которое имело довольно серьезное и продолжительное действие. Как и ожидал Коперник, его учение

получило суровое осуждение, так как прямо противоречило тексту Библии, поскольку переносило человека из центра Вселенной на одну из планет, обращающихся вокруг светила. Католическая церковь известила верующих, что коперниканская ересь «преисполнена более злонамеренной клеветой, более отвратительна и более пагубна для христианского мира, нежели все, что содержится в сочинениях Кальвина, Лютера и всех других еретиков, вместе взятых». Близкие друзья Коперника, которых он знакомил с результатами своих исследований, долгое время настаивали на необходимости публикации его работ, и он, наконец, согласился на публикацию своей книги. Первый экземпляр напечатанной книги был доставлен в день смерти Коперника.

Постепенно теория Коперника стала завоевывать место в умах ученых, так как она оказалась более удобной не только в практическом смысле (навигация, построение календаря), но в философском: считается, что в ней был положен принцип однородности Вселенной. Консерватизм и религиозное послушание расходились со здравым смыслом не только в вопросах астрономии, на математиков и астрономов произвела сильное впечатление простота новой теории. Особенно это стало очевидно в работах Кеплера.

Одним из самых последовательных и весьма авторитетных сторонников гелиоцентрической системы был Галилео Галилей. Великий итальянский ученый первый с помощью зрительной трубы, изобретенной в Голландии, сконструировал телескоп и использовал его для систематических астрономических наблюдений. Основные исследования были Галилеем опубликованы в книге «Диалог о двух главнейших системах мира — птолемеевой и коперниковой» с разрешения папы Урбана VIII, который считал, что новая теория обречена и даже великий Галилей не сможет доказать ее истинность. В «Диалоге» Галилей должен был изложить обе теории беспристрастно, указывая на достоинства и недостатки в обеих системах. Однако в изложении Галилея гелиоцентрическая система обладала очевидными преимуществами перед старой общепринятой системой, что стало поводом привлечь ученого к суду инквизиции. И только перед угрозой пытки он вынужден был отречься от теории Коперника, заявив: «Ложность коперниканской системы не вызывает сомнений, особенно у нас, католиков». В 1633 году «Диалог о двух главнейших системах мира» был внесен в «Индекс запре-

щенных книг», лишь в 1992 году римский папа Иоанн Павел II признал преследования Галилея несправедливыми и снял с него все обвинения в ереси.

Галилей был не только выдающимся приверженцем и защитником гелиоцентрической системы, но он также предложил свою философию естествознания.

Галилеем был предложен четкий план изучения природы, состоящий из четырех пунктов: 1) необходимость количественного описания физических явлений; 2) выделение принципиальных свойств явлений и их измерение. Количественно выраженные свойства будут переменными величинами в формулах; 3) дедуктивное построение физики; 4) изучение любого явления предполагает его идеализацию.

Достижения Галилея в механике весьма существенны. Он открыл закон инерции и сформулировал принцип относительности в механике, который был обобщен А. Эйнштейном в общей теории относительности. Его многочисленные опыты по изучению равноускоренного движения позволили ему дать четкое определение такого движения и вывести зависимость скорости и пути от времени в этом движении. Более того, Галилей доказал, что свободно падающее тело движется с постоянным ускорением, а тело, брошенное под углом к горизонту, будет двигаться по параболе.

Галилей впервые показал, что период колебаний математического маятника зависит лишь от длины подвеса и не зависит от амплитуды при малых углах отклонения.

Весьма замечательной была попытка Галилея определить скорость света в земных условиях. И хотя она закончилась неудачей, но сама попытка доказательства конечности скорости света является прогрессивным шагом ученого.

Гений Галилея заключается в том, что он «всю жизнь читал открытую для всех великую книгу природы» и тем самым сумел подготовить почву для своих великих продолжателей.

1.3. Механика Ньютона

Дело жизни итальянского ученого получило свое продолжение и блестящее завершение в трудах другого не менее гениального ученого — Исаака Ньютона.

Известность профессору Кембриджского университета принесла его работа «Математические начала натуральной философии», опубликованная в 1687 году. При жизни Ньютона его блестящий труд выдержал три издания и стал широко известен не только в научных кругах, но и всем просвещенным людям того времени.

Наукой Ньютон занимался в молодые годы и преуспел во многих ее областях. Но следует особо отметить его философский подход к изучению природы и его применение в работе над законом всемирного тяготения. Философия Ньютона была продолжением программы Галилея: законы природы, которые описывают наблюдаемые явления природы, необходимо записывать на строгом математическом языке. Такая трактовка позволяет строить эксперимент, который будет решающей проверкой для математически изложенного закона природы. В случае его успешного подтверждения дальнейшие рассуждения должны приводить к открытию новых явлений природы и их закономерностей.

Как широко известно, Ньютон хотел познать план сотворения мира Создателем, но осознал, что за многочисленными явлениями можно не увидеть четкого механизма.

Неоспоримым достижением Ньютона можно считать открытие единых законов природы, которые справедливы для движения как земных, так и небесных тел.

Ньютон показал, что сила тяготения между любыми двумя телами определяется формулой

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (1)$$

где F — сила тяготения; m_1 и m_2 — массы тел; r — расстояние между ними; коэффициент G одинаков для всех тел.

Современник Ньютона Р. Гук открыл этот закон для движения планет раньше Ньютона, что было предметом спора между учеными, который привел их к взаимной неприязни.

В своих «Началах» Ньютон сформулировал три закона движения, которые должны были стать прочным фундаментом для исследования движения земных и небесных тел. Ныне эти законы известны как законы Ньютона, хотя авторами первого и второго законов были Галилей и Декарт.

Первый закон Ньютона

Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние.

Второй закон Ньютона

Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует.

Третий закон Ньютона

Действию всегда есть равное и противоположное противодействие, иначе — взаимодействие двух тел друг на друга между собою равны и направлены в противоположные стороны.

Ньютон дополнил эти законы законом всемирного тяготения, который был им обобщен как универсальный закон, применимый ко всем телам во Вселенной.

Следующая и главная проблема, которую пытался разрешить Ньютон — это природа тяготения, и здесь его ждала неудача. Он признавал: «До сих пор я изъяснял небесные явления и приливы наших морей на основании силы тяготения, но я не указывал причины самого тяготения... Причину же этих свойств силы тяготения я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотез же я не измышляю.

В такой философии предложения выводятся из явлений и обобщаются с помощью наведения... Довольно того, что тяготение на самом деле существует и действует согласно изложенным нами законам, и вполне достаточно для объяснения всех движений небесных тел и моря».

Удивительный и бесконечный порядок в движении планет и других небесных тел был поистине непостижимым настолько, что великий ученый склонялся к наличию гениального плана Создателя, который и поддерживает созданный им мир упорядоченным.

Доньютоновская механика была опутана предрассудками, заложенными еще версией Аристотелем о существовании надлунного и подлунного миров. Исследования Галилея и Ньютона сняли завесу мистики с небесного движения и показали, что планеты, капли дождя и снаряды движутся по одним и тем же физическим

законам. Эти законы формулируются математическим языком, что позволяет сделать однозначный вывод, что законы природы — математические, поэтому познаваемы человеческим разумом. Природа тел — небесных и земных — одинакова, поэтому идеальность небесного и несовершенство земного не более, чем предрассудок.

Но открытие количественных законов взаимодействия и движения тел во Вселенной не способствовало пониманию физической сущности гравитации. Со временем ученые смирились с полезностью этого понятия и долгое время ее воспринимали как реальную физическую силу.

Постоянство скорости света как экспериментально доказанный факт был в противоречии с другим опытным фактом — независимостью законов физики от выбора инерциальной системы отсчета. Следствием из классических законов было правило сложения скоростей, которое, по сути, не распространялось на скорость света.

1.4. Теория относительности Эйнштейна

*Был этот мир глубокой тьмой окутан.
Да будет свет! И вот явился Ньютон.
Но сатана недолго ждал реванша.
Пришел Эйнштейн — и стало все, как раньше.
(С. Маршак)*

Теория относительности (ТО) Эйнштейна состоит из специальной теории относительности (СТО) и общей теории относительности (ОТО).

1.4.1. Специальная теория относительности

Специальная теория относительности родилась из противоречия между механикой Ньютона и электродинамикой Максвелла, к началу XX века правильность теории электродинамики Максвелла сомнений не вызывала, однако неприменимость правила сложения скоростей из механики к уравнениям Максвелла все еще оставалась нерешенной проблемой физики.

Несмотря на это, среди физиков рубежа XIX–XX века царил уныние: считалось, что почти все законы уже открыты. В научном фольклоре сохранилась история о физике, объявившем в конце

столетия, что физика практически завершена и ее будущее следует искать с точностью до нескольких знаков после запятой. Так, в биографии Макса Планка упоминается, как профессор физики отговаривал его заниматься этой наукой. Другой молодой физик рассказывает, как подвергался нападкам со стороны студентов социологов и политологов за то, что занимается «дохлым делом» — физикой.

Открытие в 1895 году Рентгеном рентгеновского излучения воодушевило физиков и вернуло в них веру, что в мире есть еще вещи, которые можно открыть.

Для устранения противоречий механики и электродинамики родилась теория «*светоносного эфира*». Волновая природа света уже не вызывала практически никаких сомнений, но свет по аналогии с другим волновым движением — звуком — требует для своего распространения специальную среду. Существование этой субстанции никоим образом не подтверждалось простыми наблюдениями, например, за солнечным светом, достигающим Земли. Более этого, светоносная среда (она получила название светоносного эфира) должна была обладать взаимоисключающими свойствами. С одной стороны, она невесомая и неосязаемая, а с другой — эфир должен заполнять все пространство, и сквозь него все тела должны двигаться без сопротивления.

Поскольку существование светоносного эфира было чисто теоретическим, то необходим был эксперимент, который доказал бы, что земля движется в покоящемся эфире. В 1881 году американские физики А. Майкельсон и Э. Морли придумали такой эксперимент и осуществили его. Результаты опыта Майкельсона — Морли доказали отсутствие каких-либо признаков того, что Земля движется в светоносном эфире. Этот опыт хоть и нанес тяжелейший удар по традиционной теории, однако полное ее «изгнание» из физики наступило лишь после разработки Альбертом Эйнштейном специальной теории относительности.

К концу XX века для объяснения всех проведенных к тому времени экспериментов теория эфира стала переполненной различного рода предположениями (в версии Лоренца насчитывалось 27 гипотез), подчас противоречащих друг другу. Так, эфир должен был одновременно обладать плотностью твердого тела и при этом быть высоко разреженным.

Дальше всех в попытках увязать правило сложения скоростей с уравнениями Максвелла, опираясь на теорию эфира, продвинулся Хендрик Лоренц.

В 1892 году Лоренц вводит предположения о том, что объекты при движении сквозь эфир сокращаются в направлении движения:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \quad (2)$$

Лоренц также вводит так называемое местное время:

$$t' = t - \frac{v}{c^2} x \quad (3)$$

и показывает, что уравнения Максвелла остаются неизменными при движении системы отчета сквозь эфир. Однако Лоренц не придает своим преобразованиям характера общих пространственных закономерностей, а связывает их лишь со свойствами эфира. Сам Лоренц позднее напишет: «Основная причина, по которой я не смог предложить теории относительности, заключается в том, что я придерживался представления, будто лишь переменная t может считаться истинным временем, а предложенное мной местное время t' должно рассматриваться только в качестве вспомогательной математической величины».

Важную роль в развитии специальной относительности сыграли работы Анри Пуанкаре. Именно он дает правильную математическую формулировку преобразований Лоренца, а в 1898 году, за 7 лет до Эйнштейна формулирует общий принцип относительности, в 1900 году высказывает мысль об условном характере одновременности двух событий, высказывает и предположение о предельности скорости света.

Пуанкаре развивает свои идеи, и в 1905 году готовит к публикации статью, предварительный вариант выходит в свет 9 июня 1905 года, а уже в сентябре 1905 года появляется знаменитая работа Эйнштейна, в то время как работа Пуанкаре остается незамеченной.

После появления работы Эйнштейна Пуанкаре прекращает все публикации на тему теории относительности.

Пуанкаре и Эйнштейн в своих работах использовали один и тот же математический аппарат, и фактически Пуанкаре первым сформулировал постулаты специальной теории относительности (СТО). Тогда почему славу создателя теории относительности получает именно Эйнштейн, а не Пуанкаре?

Дело в том, что Пуанкаре в своих работах опирается на теорию эфира и трактует изменение пространства-времени как абсолютные свойства эфира, а Эйнштейн делает решительный шаг: упраздняет понятие эфира, и первым приходит к выводу, что *изменение пространства-времени — это не абсолютные свойства эфира, а относительные свойства пространства-времени*. Эйнштейн предлагает альтернативную трактовку формул, подойдя к проблеме с другого ракурса.

Ведь до Эйнштейна все попытки объединить проверенную временем механику и молодую электродинамику исходили из того, что верна механика, а электродинамика требует уточнения.

В основу **СТО** Эйнштейн положил **два постулата**:

1. *Принцип относительности*: любые физические процессы протекают одинаково в различных инерциальных системах отсчета;
2. *Принцип постоянства скорости света*: скорость света в вакууме не зависит от скорости движения источника.

Следствия из СТО:

1. *Релятивистское замедление времени*. Время в движущейся системе отсчета замедляется относительно неподвижной системы отсчета. Так, при движении со скоростью света время относительно неподвижной системы отсчета остановится. В качестве иллюстрации релятивистского замедления времени часто приводится парадокс близнецов (см ниже).

2. *Лоренцево сокращение длин*. Следует из формулы (2). Линейные размеры тел в движущейся системе отсчета сокращаются относительно неподвижной системы отсчета. В качестве иллюстрации используют парадокс шеста и сарая (см ниже).

3. *Относительность одновременности*. События, происходящие одновременно в одной системе отсчета, могут не являться таковыми в другой системе отсчета.

4. *Пространство и время однородны, пространство изотропно* (изотропность — одинаковость свойств во всех направлениях).

Свойство следует из преобразований Лоренца и используется в космологии при построении моделей Вселенной.

5. $E = mc^2$ — эквивалентность массы и энергии. Самая узнаваемая формула физики; правда, редко кто понимает ее смысл. Формула традиционно ассоциируется только с Эйнштейном, хотя задолго до него ее открыл целый ряд ученых: Г. Шрамм (1872), Н.А. Умов (1874), Дж. Дж. Томсон (1881), О. Хевисайд (1889), Х. Лоренц, А. Пуанкаре и др. Но только Эйнштейн вложил новый смысл в известную к тому моменту формулу.

Всем известно, что данная формула является символом атомной энергетики и лежит в основе принципа создания ядерных бомб. В качестве примера возьмем кусок мела массой 100 г или 0,1 кг. Согласно формуле эквивалентности массы и энергии, кусок мела должен обладать энергией

$$E = mc^2 = 0,1(3 \cdot 10^8)^2 = 9 \cdot 10^{17} \text{ Дж}$$

(энергия взрыва в Хиросиме около $6 \cdot 10^{13}$ Дж!).

То есть в 100 г вещества содержится энергия, достаточная, чтобы уничтожить целый город!

Сам Эйнштейн, будучи пацифистом, был очень недоволен, когда узнал, в каких целях использовались его теоретические выводы.

6. *Релятивистское увеличение массы*. Масса в движущейся системе отсчета увеличивается относительно неподвижной системы отсчета. Таким образом, учитывая эквивалентность массы и энергии, тело, обладающее массой, *невозможно разогнать до скорости света* — для этого ему надо придать бесконечную энергию, что невозможно.

7. *Скорость света в вакууме* — это максимально возможная скорость взаимодействия в нашем мире: невозможно движение, а также любой обмен информацией со скоростью, большей c . Невозможно беречь просторы Вселенной на космических кораблях, движущихся со сверхсветовой скоростью, как и невозможно создание компьютера, обрабатывающего информацию, быстрее c (исключение — квантовый компьютер, см. ниже).

8. *СТО является математическим выражением принципа причинности*. Принцип причинности — один из фундаментальных научных принципов, заключающийся в том, что сначала наступает причина, а только потом следствие. Принцип очень прост и понятен: вы не

можете родиться раньше, чем появятся на свет ваши родители. Принципом причинности запрещены путешествия во времени.

Чтобы понять связь между СТО и принципом причинности, рассмотрим зайца и охотника, у которого есть ружье, стреляющее пулями, движущимися быстрее скорости света. Рассмотрим систему отсчета, связанную с охотником: охотник нажимает на курок — зайчик падает. Перейдем в систему отчета, связанную с зайчиком: сначала заяц упадет, а только потом охотник нажмет на курок, то есть в его системе отсчета нарушится принцип причинности, а поскольку системы отсчета эквиваленты согласно первому постулату, то такое невозможно.

9. СТО запрещает существование *таххионов* — частиц, у которых масса содержит корень из отрицательных чисел. С математической точки зрения тахионы — единственные частицы, способные двигаться со скоростью выше скорости света. Если тахионы существуют и способны взаимодействовать с досветовыми объектами, то они нарушат причинно-следственную связь в нашем мире.

Парадоксы СТО

Сразу после появления на свет СТО приковала к себе внимание ученых со всего мира (ведь теория оказалась настолько смелой и революционной, что ставила под сомнение фундаментальные представления о нашем мире). С целью доказательства несостоятельности СТО появляется множество *парадоксов*. Парадоксы — это некоторые логические несостыковки внутри самой теории. Наличие парадоксов в любой теории указывает на противоречия внутри самой теории, стимулирует ученых на новые исследования и зачастую приводит к пересмотру всей теории.

Парадокс часов (близнецов) СТО

Рассмотрим двух близнецов (или двое часов). Пусть один из них отправляется в космическое путешествие со скоростью v , затем возвращается обратно с той же скоростью, а второй остается на Земле.

Вопрос: кто из них, согласно СТО, будет старше?

С одной стороны, улетевший близнец будет моложе, так как время, прошедшее в собственной системе отсчета (СО), всегда меньше времени, прошедшего в неподвижной системе. Поэтому брат, оставшийся на Земле, будет старше.

С другой стороны, если перейти в СО, связанную с космонавтом, получим, что старше будет он, так как время, прошедшее в его системе отсчета, будет больше собственного времени оставшегося на Земле брата.

В этом и заключается парадокс: *использование СТО приводит к двум взаимоисключающим выводам*. Так, кто из братьев будет старше и почему?

Решение парадокса очень простое: обычная формула для связи временных промежутков в СТО применима лишь в инерциальных системах отсчета. Очевидно, что СО космонавта не является инерциальной, так как он движется с разными скоростями: полпути с одной, полпути с противоположной. Расчет времен в этой СО возможен, но формулы будут не такими, как в ИСО. Поэтому старше будет все-таки брат-землянин.

Парадокс метрового стержня

Пусть горизонтальный стержень длиной 1 м движется с постоянной скоростью по оси Ox в положительном направлении, а центр горизонтально ориентированного кольца диаметром 1 м — по оси Oy в положительном направлении. Движения синхронизированы таким образом, что центры стержня и кольца одновременно (по часам лабораторной системы отсчета) проходят начало отсчета системы координат $Oxuz$. Поскольку стержень движется вдоль самого себя, он испытывает сокращение Лоренца — Фицджеральда и его длина в лабораторной системе будет меньше одного метра. Кольцо же, напротив, движется поперек себя, и его поперечные размеры не испытывают сокращения. Поэтому в лабораторной СО стержень свободно пронизывает кольцо, не задевая его.

Однако рассмотрим эту же задачу в системе отсчета, связанной со стержнем. В ней длина стержня не испытывает сокращения. Кольцо же, напротив, теперь движется не только вдоль, но и частично поперек себя. Следовательно, теперь его размеры должны сократиться, и его диаметр станет меньше одного метра. Следовательно, стержень не впишется в кольцо и заденет его. Таким образом, в разных системах отсчета получились результаты, противоречащие друг другу. Какой же результат правильный, а какой ложный?

Интуиция нам подсказывает, что во втором случае не все так чисто, как кажется на первый взгляд. Впервые мы имеем дело со

сложным случаем, когда и тело, и новая система отсчета движутся относительно лабораторной, причем эти движения не сонаправлены. Поэтому корректнее разлагать движение кольца не по осям новой системы отсчета x' и y' , а по осям вдоль и поперек его скорости в этой системе отсчета. Тогда мы увидим, что при продольном сокращении Лоренца — Фицджеральда диаметр кольца действительно уменьшится, но и при этом возникнет еще один важный эффект: кольцо слегка повернется против часовой стрелки! И именно благодаря этому стержень сможет пройти сквозь него. Точные расчеты по формулам преобразований Лоренца показывают, что действительно стержень не заденет кольцо!

Все появившиеся парадоксы СТО давно разрешены, СТО — абсолютно математически непротиворечивая теория, и никакими мысленными экспериментами ее опровергнуть нельзя.

Пусть выводы СТО плохо согласуются с нашими интуитивными представлениями о мире, но в настоящее время СТО сомнений в своей правильности ни у кого не вызывает.

Революционность постулатов СТО трудно переоценить: ученым опять пришлось коренным образом менять свои представления теперь уже о свойствах пространства и времени, которые до этого были незыблемыми. Специальная теория относительности не только соответствовала всем известным экспериментальным фактам, но предсказала многие следствия, ранее неизвестные. Среди них выводы о зависимости длительности интервала времени между двумя событиями от выбора системы отсчета, о релятивистском законе сложения скоростей, о существовании энергии покоя.

1.4.2. Общая теория относительности

Размышления Эйнштейна над актуальными проблемами физики проходили под влиянием идей одного из ведущих профессоров Цюрихского политехникума Германа Минковского, лекции которого слушал Эйнштейн в период своего обучения в политехникуме. Он взял на вооружение идею Минковского о том, что Вселенную следует рассматривать как четырехмерный пространственно-временной мир. Но это никак не объясняло сущность гравитации, и Эйнштейн предпринял попытку распространить постулаты СТО на ускоренно движущиеся системы отсчета.

Общая теория относительности (ОТО) — физическая теория пространства-времени и тяготения, основанная на принципах эквивалентности инертной и гравитационной масс и линейной связи массы и гравитационными эффектами, ею вызываемыми.

Гравитационные эффекты в рамках ОТО перестают быть следствием силовых воздействий тел и полей друг на друга, а являются проявлением деформации самого пространства-времени, которая, в свою очередь, вызвана локальным присутствием массы-энергии. Таким образом, необходимость гравитации отпала так же, как в свое время отпала надобность в светоносном эфире. Именно геометрия деформированного пространства-времени определяет теперь движение тел, а не силовое воздействие в виде гравитационной силы.

В теории гравитации Ньютона было еще одно противоречие, связанное с тем, что сила тяготения является дальнедействующей. Дальнедействие предполагает, что гравитационное поле распространяется мгновенно на любые расстояния. Однако современная теория поля утверждает, что максимальная скорость передачи информации равна скорости света в вакууме, что лежит в основе специальной теории относительности, выведенной Эйнштейном, Пуанкаре и Лоренцем в 1905 году.

С математической точки зрения гравитационная сила соответствует потенциалу гравитации, который, в свою очередь, подчиняется уравнению Пуассона. Это уравнение не инвариантно при преобразованиях Лоренца, потому что в специальной теории относительности энергия (в том числе и потенциальная) является временной компонентой 4-мерного вектора. Векторная теория гравитации аналогична теории электромагнитного поля, что дает отрицательную энергию гравитационных волн, так как массы, будучи аналогами одноименных зарядов, притягиваются, что противоречит теории электромагнетизма, в которой они должны отталкиваться. Таким образом, теория гравитации несовместима с фундаментальным принципом специальной теорией относительности — инвариантностью законов природы в любой инерциальной системе отсчета. А обобщение теории Ньютона, предложенной Пуанкаре в статье «О динамике электрона», приводит к недопустимым результатам.

Дальнейшие размышления Эйнштейна о теории гравитации, основанные на включении гравитации в принцип инвариантности законов природы, привели к *отождествлению гравитационной и инертной массы*, что стало основой общей теории относительности.

Изначально инертная и гравитационная массы относились к разным законам классической механики и измерялись разными способами. Инертная масса есть коэффициент пропорциональности между негравитационной силой и ускорением во втором законе Ньютона. Гравитационная масса относится к закону всемирного тяготения и определяет силу тяжести, действующую на тело или силу притяжения, действующую на другие тела. По сути, разные методы определения этих масс делают необязательным их равенство друг другу. Уравнять их можно, подобрав удобные единицы измерения.

Отождествление инертной и гравитационной масс приводит к следующим рассуждениям. Если второй закон Ньютона записать для гравитационной силы, то массы сокращаются и все кинематические характеристики движения (траектория, скорость и т.д.) уже от массы не зависят. Тогда все тела в одной и той же точке пространства получают одинаковые ускорения, и это ускорение никак не зависит от свойств самого тела. Следовательно, ускорение в данной точке пространства определяется свойствами самого пространства.

Дальше встает вопрос описания пространства-времени, в котором двигаются тела. Эйнштейн предположил, что тела двигаются по так называемым геодезическим линиям, которые представляют собой кратчайшие траектории. Здесь понадобился следующий качественный скачок в математическом восприятии физической действительности. Теория геодезических линий, разработанная еще в XIX веке, была предтечей тензорного анализа и давала возможность найти кратчайшее расстояние между двумя точками в пространстве, обладающем любой метрикой, с любыми физическими свойствами.

Современные эксперименты с хорошей степенью точности подтверждают как движение тел по геодезическим линиям, так и равенство инертной и гравитационной масс.

В общей теории относительности Эйнштейна гравитация оказывается лишней — движение тел определяется геометрией пространства, которая, в свою очередь, зависит от распределения масс в нем (рис. 1).

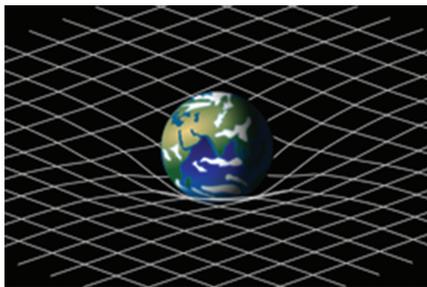


Рис. 1. Искривление пространства-времени материей

Всю суть теории гравитации Эйнштейна можно свести к знаменитой фразе Уилера: *«Материя говорит пространству-времени, как ему искривляться. Пространство-время говорит материи, как ей двигаться»*, т.е. согласно Эйнштейну, *гравитация — это искривление пространства-времени материей.*

Принцип соответствия, который также является фундаментальным в ОТО, делает результаты применения закона всемирного тяготения воспроизводимыми в слабых гравитационных полях.

Как и любая гипотеза, общая теория относительности нуждалась в экспериментальном подтверждении, что позволило бы ей стать полноправным законом природы.

Первым следствием, которое ОТО предсказала, был расчет дополнительного сдвига перигелия Меркурия. Расчеты этого дополнительного сдвига, сделанные по законам классической механики, давали результаты, отличающиеся от эксперимента. Более точный расчет дает значение $43,00''$ за сто лет, что почти совпадает с экспериментом — $43,11'' \pm 0,45''$.

Вторым экспериментальным подтверждением справедливости общей теории относительности является отклонение светового луча в гравитационном поле Солнца. Ньютон допускал, что свет может испытывать влияние гравитации Солнца, но расчеты по его теории дают результаты вдвое меньшие, чем по теории Эйнштейна. 29 мая 1919 года во время полного солнечного затмения были проведены наблюдения звезд, находящихся на прямой линии с Солнцем. Дальнейшие расчеты отклонения от прямой световых лучей, идущих от этих звезд, под влиянием гравитации Солнца полностью подтвердили выводы ОТО.

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru