Глава 8

Время и Гравитация

В случае слабого гравитационного поля единственным, но принципиальным отличием квантовой теории гравитации от общей теории относительности является то, что с точки зрения общей теории относительности вблизи большой (гравитирующей) массы время “замедляется”, а с точки зрения квантовой теории гравитации, наоборот, – “ускоряется”.

В этой главе мы подробно разберём этот вопрос и рассмотрим доводы в пользу той или другой точки зрения.

§ 8.1 Пространственно-временной масштаб

В общей теории относительности предполагается, что окружающее нас пространство имеет тот же самый пространственно-временной масштаб (любой пространственно-временной масштаб всегда можно выразить в виде некоторой комбинации величин $c, \hbar, m$ [10,с.133]), что и пустое пространство. С этой точки зрения пространственно-временной масштаб при расширении Вселенной *не изменяется*. Это означает, что распределение материи во Вселенной никак не влияет на процессы, происходящие на Земле. А с точки зрения квантовой теории гравитации *пространственно-временной масштаб внутри нашей Вселенной определяется распределением всей материи во Вселенной*. И эффект гравитации – это изменение пространственно-временного масштаба, вызванное локальными неоднородностями в распределении материи на общем фоне распределения материи во Вселенной (7.21). И с этой точки зрения пространственно-временной масштаб *будет изменяться* и при расширении Вселенной, и при изменении гравитационного потенциала. Например, когда Земля подходит ближе к Солнцу (находится в перигелии) скорость света возрастает (2.1), постоянная Планка уменьшается (2.9), массы покоя элементарных частиц также уменьшаются (3.21). В частности, как было выяснено в § 2.8 (и уточнено в § 3.5), скорость света варьируется в течение года на величину $|\Delta c| \approx 0{,}1$ м/с.

Изменение пространственно-временного масштаба вблизи большой массы имеет простой физический смысл. Вблизи массы уменьшается неопределённость в движении элементарных частиц. Поэтому уменьшаются радиусы электронных оболочек, а, значит, и размеры атомов. Например, уменьшается радиус Бора (4.9). Поэтому все расстояния между точками вблизи большой массы увеличиваются (7.16). Из-за уменьшения электронных радиусов скорость вращения электронов вокруг ядра возрастает. Возрастает энергия перехода электронов с одного уровня на другой (4.27). Поэтому повышаются частоты излучения спектральных линий (4.29). В результате длительность любого физического процесса вблизи массы сокращается (7.14), а скорость его протекания, соответственно, возрастает. Например, возрастает скорость распространения электромагнитных колебаний – скорость света (2.1).

Тем не менее, если мы будем измерять скорость света в течение года даже с точностью 1см/с, мы всё равно не обнаружим её изменения. Это произойдёт потому, что *все эталоны* длины и времени также будут изменяться в течение года. Например, предположим, что величина скорости света возросла в k раз. При этом, как следует из уравнения (7.15), все эталоны длины уменьшаться в k раз. И, значит, свет будет пролетать метровый эталон в k^2 раз быстрее. Но из уравнения (7.14) следует, что длительность одной секунды уменьшится также в k^2 раз, и в результате скорость света, измеренная *в метрах в секунду*, останется той же самой. Поэтому для того чтобы выяснить, *как* изменяется (возрастает или уменьшается) скорость света в гравитационном поле, нужно непосредственно сравнить скорость распространения света в различных областях гравитационного поля. Например, с точки зрения квантовой теории гравитации на высоте 30 км над земной поверхностью величина скорости света будет на 1 мм/с меньше, чем на земной поверхности. Но такое незначительное изменение очень трудно обнаружить экспериментально. Тем не менее, в земных условиях можно провести относительно простой эксперимент, который позволит однозначно определить, какая их двух теорий гравитации (общая теория относительности или квантовая теория гравитации) является верной. Только для этого нужно измерять не скорость света, а “скорость времени”. Описание этого эксперимента будет изложено в § 8.3.

§ 8.2 Неоднородность времени

В § 3.6 мы пришли к выводу, что массы покоя элементарных частиц зависят от абсолютной величины гравитационного потенциала (3.21). А что в действительности это означает? Ведь если, к примеру, мы будем свободно падать вместе с физической лабораторией в гравитацион-ном поле, то мы не заметим, что массы покоя элементарных частиц как-то изменились. Это произойдёт потому, что все наши эталоны массы также изменятся в той же самой пропорции, что и массы элементарных частиц. А в предыдущем параграфе выяснили, что если мы будем двигаться в гравитационном поле, то свет всё равно будет проноситься мимо нас с одной и той же скоростью – 300 000 км/с! И это произойдёт потому, что все наши эталоны длины и времени также будут изменяться в гравитационном поле. Какой же тогда физический смысл имеют уравнения, связывающие величину скорости света (2.1), постоянной Планка (2.9), массы покоя элементарных частиц (3.21) с величиной гравитационного потенциала? В какой системе отсчёта они будут выполняться? Ответ простой: они будут выполняться в системе отсчёта, в которой пространственно-временной масштаб остаётся неизменным. А существуют ли в природе такие системы отсчёта? Строго говоря, такие системы отсчёта в природе не существуют, так как из-за расширения Вселенной пространственно-временной масштаб изменяется каждую секунду.

Такое положение вещей очень похоже на то, которое существует в механике Ньютона. С одной стороны, законы Ньютона выполняются только в инерциальной системе отсчёта, а, с другой стороны, инерциальные системы отсчёта, строго говоря, в природе не существуют.

Такая, казалось бы, неразрешимая ситуация, в действительности, разрешается очень просто следующим образом. Задача формально решается в некоторой абстрактной, но идеальной, инерциальной системе отсчёта. Затем путём математических преобразований совершается переход к данной неинерциальной системе отсчёта. При этом законы Ньютона несколько модернизируются (вводятся поправки на центробежные силы, силы Кориолиса и т. д.), и в таком модернизированном виде они становятся справедливы и в неинерциальной системе отсчёта. И, наоборот, если в некоторой системе отсчёта наблюдается отклонение от законов Ньютона, то по величине этих отклонений можно сделать вывод о том, *как* данная система отсчёта движется относительно инерциальной системы отсчёта. Подобная ситуация имеет место и в нашем случае. Для того чтобы использовать уравнения (2.1), (2.9), (3.21), следует выбрать некоторую систему отсчёта, в которой пространственно-временной масштаб *не изменяется*. На самом деле мы так всегда и поступали. И уже, исходя из этого, можно будет рассчитать, какие наблюдаемые эффекты следует ожидать в том случае, когда пространственно-временной масштаб будет *изменяться.* И, наоборот, если в некоторой системе отсчёта мы экспериментально обнаружим такие эффекты, то мы сможем сделать вывод о том, что пространственно-временной масштаб в ней изменяется. Более того, мы сможем рассчитать скорость, с которой изменяется масштаб, то есть сможем узнать, как быстро в данной системе отсчёта изменяется абсолютный гравитационный потенциал.

Давайте разберём конкретный пример. Наша Вселенная расширяется (по крайней мере, это предполагается). Поэтому, если исходить из квантовой теории гравитации, пространственно-временной масштаб должен изменяться каждую секунду. То есть каждую секунду будут изменяться величина скорости света, постоянной Планка, масса покоя электрона (или любой другой частицы). А это означает, что каждую секунду изменяются размеры атомов, энергии перехода электрона с одного уровня на другой, длины волн спектральных линий и т. д.

Можно сказать, что из-за расширения Вселенной в нашем мире *нарушена однородность времени*, так как различные моменты времени не эквивалентны. И нам как раз нужно эту неоднородность времени зарегистрировать экспериментально. А для этого достаточно сравнить между собой длины волн двух лучей, испущенных из одного и того же лазера при одних и тех же условиях, но в разные моменты времени. Этот, относительно простой эксперимент (который почему-то никогда не рассматривался в научной литературе, так как, по-видимому, все убеждены в том, что время однородно), мы рассмотрим в § 10.10.

§ 8.3 Эксперимент по проверке квантовой теории гравитации

Для того чтобы выяснить, какая из двух теорий (общая теория относительности или квантовая теория гравитации) является истинной, необходимо провести следующий, очень простой эксперимент. Двое точных часов (лучшие современные атомные часы, основанные на измерениях атомных радиопереходов, имеют относительную погрешность

10^{-15} [51]) следует установить на различных высотах (рис. 26). Например, одни часы установить в лаборатории на равнине, а вторые – в лаборатории, расположенной высоко в горах, скажем, на высоте h = 5 км относительно первой лаборатории.

Если верна общая теория относительности, то будут отставать часы, находящиеся на равнине. Из уравнения (4.10) следует, что относительное отставание часов составит величину [5;с.322]:

$$\frac{gh}{c^2} \approx \frac{10\,\text{м с}^{-2} \cdot 5 \cdot 10^3\,\text{м}}{10^{17}\,\text{м}^2\text{с}^{-2}} \approx 5 \cdot 10^{-13} \qquad (8.1)$$

То есть каждую секунду часы, находящиеся на равнине, будут отставать от часов на горе на $5{\cdot}10^{-13}$ с. И, следовательно, через 12 дней (примерно миллион секунд) они отстанут на 0,5 μс.

А если верна квантовая теория гравитации, то будут отставать часы, находящиеся высоко в горах. И нетрудно рассчитать, используя уравнение (7.14), что относительное отставание составит величину:

$$\frac{c^2(h)}{c^2(0)} - 1 = \frac{c^2(0) + 2gh}{c^2(0)} - 1 = \frac{2gh}{c^2} \approx 10^{-12} \qquad (8.2)$$

То есть каждую секунду часы, находящиеся на горе, будут отставать от часов на равнине на 10^{-12} с. И через 12 дней они отстанут на 1 μс.

Таким образом, если верна общая теория относительности, то через 12 дней часы, находящиеся на равнине, отстанут на 0,5 μс. А если верна квантовая теория гравитации, то они, наоборот, уйдут вперёд на 1 μс по сравнению с часами, находящимися на горе. То есть по результатам данного эксперимента можно будет сделать однозначный выбор между общей теорией относительности и квантовой теорией гравитации.

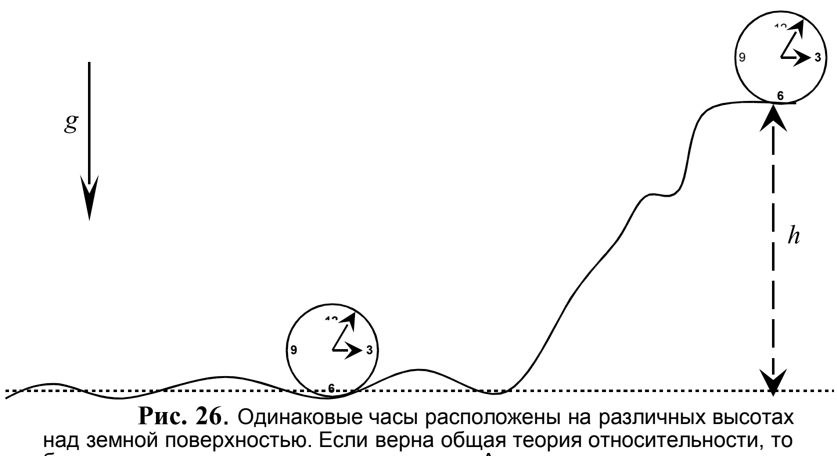


Рис. 26. Одинаковые часы расположены на различных высотах над земной поверхностью. Если верна общая теория относительности, то будут отставать часы, находящиеся внизу. А если верна квантовая теория гравитации, то отстанут часы, находящиеся наверху.

Для того чтобы учесть систематическую ошибку (она может быть вызвана тем, что скорость хода первых и вторых часов, возможно, незначительно различается), нужно провести аналогичный эксперимент, в котором первые и вторые часы следует поменять местами. Кроме того, следует сравнить скорость хода первых и вторых часов при одинаковых условиях и выяснить, какие из них идут быстрее и насколько быстрее. Для того чтобы устранить случайные ошибки в эксперименте, следует использовать не двое, а большее количество часов. А затем произвести статистическую обработку полученных результатов. Только после учёта случайных и систематических ошибок можно будет сделать определённые выводы по результатам данного эксперимента.

Можно также отметить, что с точки зрения специальной теории относительности (истинность которой установлена с высокой степенью точности) часы, расположенные на горе, должны идти несколько медленнее, чем часы на равнине. Этот эффект вызван тем, что скорость движения часов на горе, вызванная вращением Земли вокруг своей оси, несколько больше, так как они расположены дальше от центра Земли. Пусть V – скорость вращения земной поверхности в том месте, где расположены первые часы. Она зависит от широты местности и на средних широтах примерно равна: $V \approx 300$ м/с. В этом случае часы, находящиеся на горе, будут двигаться быстрее примерно на величину: $\Delta V = Vh/R \approx 0{,}3$ м/с, где R – радиус Земли. Используя уравнение (1.19) специальной теории относительности для замедления времени (для его применения необходимо выбрать какую-нибудь инерциальную систему отсчёта, например, связанную с центром Земли), нетрудно рассчитать, что относительное отставание часов, расположенных на горе, составит следующую величину:

$$\frac{\sqrt{1-(V^2/c^2)}}{\sqrt{1-\dfrac{(V+\Delta V)^2}{c^2}}}-1 \approx \frac{V\cdot\Delta V}{c^2} \approx 10^{-15} \tag{8.3}$$

То есть этот эффект на три порядка меньше, чем эффект относительного замедления времени, вызванный действием гравитационного поля Земли.

И в заключение этого параграфа необходимо отметить следующее. С точки зрения квантовой теории гравитации вблизи большой массы будет повышаться частота любого периодического процесса, вызванного электромагнитными силами. И только поэтому можно сказать, что вблизи большой массы “скорость” течения времени возрастает. Однако не все физические процессы будут ускоряться в гравитационном поле. Например, процессы, связанные с распадом ядра, будут, наоборот, замедляться (см. § 10.4). Поэтому в общем случае, чтобы выяснить, как изменится скорость протекания какого-либо процесса в гравитационном поле, нужно посмотреть на уравнение, описывающее этот процесс. В это уравнение входят какие-либо из величин c, $\hbar$, m. Рассчитав изменение этих величин, используя уравнения (2.1), (2.9) и (3.21), можно выяснить, *как* изменится скорость протекания данного процесса вблизи большой массы.

§ 8.4 Эксперименты с движущимися часами

С точки зрения общей теории относительности время вблизи большой массы замедляется (замедляются *все* физические процессы). И это одно из ключевых положений, лежащих в самом фундаменте общей теории относительности. Поэтому очень важно убедиться в его истинности экспериментально. И в 70-х годах 20-го века были проведены эксперименты по проверке влияния гравитационного потенциала на разность показаний атомных часов [71]. Первый такой эксперимент был проведён Хэйфеле и Китингом, которые осуществили полёт вокруг Земли на самолётах в противоположных направлениях нескольких часов на парах рубидия и сравнили их показания до и после полётов с показаниями часов, оставленных на Земле. “В частности, Хэйфеле и Китинг определили относительные разности между измерениями и предсказаниями для гравитационных и кинематических эффектов, равные приблизительно $-0{,}01 \pm 0{,}09$ для полётов на запад и около $-0{,}04 \pm 0{,}4$ для полётов на восток” [50;с.219]. Таким образом, погрешность в данном эксперименте значительно превышала ожидаемый эффект. В 1976 году водородный мазерный стандарт частоты был помещён на ракету и выведен на околоземную орбиту. Для сравнения показаний водородного мазерного стандарта на ракете с показаниями аналогичного устройства, расположенного на Земле, использовались радиосигналы. Погрешность в данном эксперименте в два раза превышала ожидаемый эффект [50;с.220]. В 1977 году были проведены эксперименты, в которых были использованы трое цезиевых часов. Эти часы также совершили несколько полётов на самолётах. “В этих экспериментах лазерные сигналы посылались с Земли и отражались от кубических уголковых отражателей на самолёте, реализуя тем самым на практике эйнштейновский мысленный эксперимент по синхронизации разделённых часов с помощью обмена световыми сигналами” [50;с.219].

Итак, в первом и втором экспериментах погрешность превышала ожидаемый эффект. В третьем эксперименте синхронизация часов, летящих на самолётах, зачем-то производилась лазерными импульсами, посылаемыми с Земли. Что, вообще говоря, ставит под сомнение однозначность интерпретации полученных результатов. Можно отметить, что установка часов на самолётах (или на ракете) довольно плохая идея во всех отношениях: ускорение, скорость, вибрации – все эти помехи сильно мешают проведению эксперимента.

И, наконец, самое важное. Эксперименты с часами на самолётах и ракетах – это всего лишь *косвенные* эксперименты. Давайте внимательно разберём этот вопрос. Предположим, одни часы находятся на земле, а другие – на ракете. Чтобы сравнить между собой их показания, мы должны послать световой (электромагнитный) сигнал с земли на ракету. Но каким образом можно узнать время полёта сигнала и расстояние до ракеты? Опять же, послать световой сигнал. Но тут возникают следующие вопросы. Изменяется ли в гравитационном поле скорость света или нет? Изменяется ли в гравитационном поле частота фотона или нет? В общей теории относительности и в квантовой теории гравитации ответы на эти вопросы принципиально разные (см. § 7.8). И так как в экспериментах с движущимися часами проверяется целая совокупность различных предположений, то поэтому, исходя из них, нельзя сделать однозначного вывода о скорости времени в гравитационном поле.

Для получения однозначного ответа на вопрос о скорости времени нужно сравнить показания двух *неподвижных* относительно друг друга часов, находящихся в *одинаковых* условиях, но на *разной* высоте. То есть провести простой эксперимент, описанный в предыдущем параграфе. Такой эксперимент будет гораздо дешевле, и по его результатам можно будет сделать *однозначный* вывод о том, как влияет гравитация на скорость протекания физических процессов. Этот простой эксперимент никого не заинтересовал, возможно, потому, что в его исходе, по-видимому, никто не сомневается. *Все абсолютно* убеждены в том, что время в гравитационном поле течёт медленнее. Такое убеждение основывается, во-первых, на принципе эквивалентности, который лежит в фундаменте общей теории относительности и который основан на равенстве инертной и тяжёлой масс. А это равенство, в свою очередь, экспериментально проверено с очень высокой степенью точности. И, во-вторых, из принципа эквивалентности вытекает эффект гравитационного смещения спектральных линий, также проверенный экспериментально. А этот эффект, как принято думать, является экспериментальным подтверждением того, что время вблизи большой массы замедляется. И в следующем параграфе мы разберём доводы, приводимые для доказательства этой точки зрения.

§ 8.5 Фотоны в гравитационном поле

В общей теории относительности предполагается, что время в гравитационном поле замедляется. И для доказательства этого предположения приводится следующий хорошо известный пример (рис. 27). Допустим, наблюдатель находится на верху башни (точка *B*), а источник света – у её основания (точка *A*). В этом случае наблюдатель обнаружит, что спектр излучения несколько сдвинут в инфракрасную сторону. Именно этот эффект и интерпретируется в общей теории относительности как то, что время на верху башни течёт быстрее, чем внизу. Аргументы следующие. Предположим, что у основания башни стоит человек и каждый час ударяет в колокол. И если наблюдатель наверху будет слышать колокольный звон только один раз в два часа, то он вправе будет сделать вывод, что часы у звонаря идут в два раза медленнее, чем у него. Теперь предположим, что у основания башни имеется звуковая мембрана, которая колеблется с частотой, скажем, 10 кГц (по нижним часам). И если бы наблюдатель, находящийся наверху, услышал звуковые колебания с частотой 9 кГц, то он сделал бы вывод, что часы, находящиеся у основания башни, по какой-то причине идут медленнее, чем у него. А так как свет представляет собой электромагнитные колебания, и наблюдатель, находящийся наверху, видит, что частота этих колебаний понизилась, то он, исходя из этого, также делает вывод, что часы у основания башни идут медленнее, чем у него.

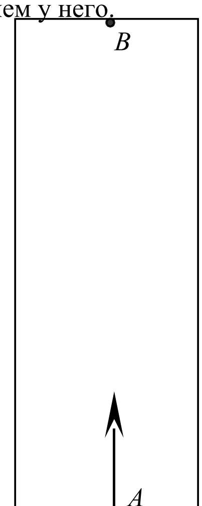


Рис. 27. Из точки *A* вылетают фотоны и движутся к точке *B*. Наблюдатель, находящийся на верху башни, в точке *B*, обнаруживает, что частота прилетевших фотонов несколько понизилась.

Этот экспериментально проверенный эффект считается в рамках общей теории относительности доказательством того, что время на верху башни течёт несколько “быстрее”, чем внизу.

Данный аргумент впервые был приведён ещё Эйнштейном. А затем многократно использовался в научной литературе. Наиболее ясно он изложен в 3-х томном учебнике “Гравитация” Мизнера, Торна и Уилера. Приведём выдержку из него: “Нижний экспериментатор испускает электромагнитный сигнал фиксированной стандартной частоты $\omega_{нижн}$, принимаемый наблюдателем наверху. Для определённости положим, что сигнал представляет собой импульс, содержащий точно N колебаний. Тогда интервал времени $\delta\tau_{нижн}$, в течение которого испускается импульс, задаётся выражением $2\pi N = \omega_{нижн}\cdot\delta\tau_{нижн}$. Верхний наблюдатель должен принять те же N колебаний электромагнитного волнового импульса и измерить время $\delta\tau_{верхн}$, которое для этого потребуется. Согласно определению “частоты” имеем $2\pi N = \omega_{верхн}\cdot\delta\tau_{верхн}$. Эффект красного смещения, установленный экспериментально (для нас) или из закона сохранения энергии (для Эйнштейна), свидетельствует о том, что $\omega_{верхн} < \omega_{нижн}$; следовательно, интервалы времени имеют разную длительность: $\delta\tau_{верхн} > \delta\tau_{нижн}$” [27,т.1;с.237,238].

Итак, наблюдатель, находящийся наверху, наблюдает некоторый периодический процесс с частотой $\omega_{нижн}$, происходящий у основания башни. И он обнаруживает, что этот процесс происходит с частотой $\omega_{верхн} < \omega_{нижн}$. И в результате он делает вывод, что время у основания башни течёт медленнее, чем у него. Однако, такой вывод необоснован, и вот почему. Свет существенно отличается от звука. Звук представляет собой механические колебания в среде, звук *не является* потоком частиц. А вот свет – это поток частиц – фотонов. Эти частицы – *неделимы*. Сколько фотонов вылетело снизу вверх, столько их и будет зарегистрировано наверху. Если у основания башни колеблется звуковая мембрана, то от неё по воздуху будут распространяться звуковые волны. Поэтому наблюдатель, находящийся наверху, сможет зарегистрировать каждое колебание мембраны. И в этом случае по частоте воспринимаемых колебаний он сможет сделать однозначный вывод о скорости времени у основания башни. А теперь предположим, что у основания башни совершает колебания электрический заряд. Заряд будет излучать фотоны, движение которых можно только приближённо описать как движение волны в пространстве (волна вероятности). И наблюдатель наверху будет регистрировать не каждое отдельное колебание заряда (как в случае со звуковой мембраной), а каждый отдельный фотон.

Наблюдатель регистрирует фотон, частота которого несколько понизилась. Что он вправе предположить, исходя из этого? Только то, что пока фотон летел в гравитационном поле, его свойства несколько изменились. Он не вправе сделать вывод, что время внизу "течёт медленнее". Вот если бы снизу вверх каждую секунду вылетало 1000 фотонов, а наблюдатель наверху регистрировал бы каждую секунду 999 фотонов (числа условные), то тогда он вправе был бы сделать вывод, что время внизу течёт медленнее на одну тысячную, чем у него. Например, с точки зрения квантовой теории гравитации время у основания башни течёт несколько быстрее, чем наверху. И если снизу вверх каждую секунду будет вылетать N фотонов, то наблюдатель наверху будет регистрировать те же N фотонов за время несколько меньшее, чем одна секунда. Но при этом частота каждого фотона будет несколько ниже, то есть наблюдатель также обнаружит эффект красного смещения спектральных линий. Таким образом, исходя из эффекта гравитационного смещения спектральных линий, нельзя сделать однозначный вывод о замедлении или ускорении времени.

§ 8.6 Время и общая теория относительности

В этом параграфе мы рассмотрим доводы, которые используются в общей теории относительности для обоснования её основных положений. При этом наибольшее внимание будем уделять вопросу о "скорости времени" в гравитационном поле.

Хорошо известно, что ускорение тела в поле тяжести не зависит от его инертной массы, то есть гравитационная масса тела *всегда* пропорциональна его инертной массе. Поэтому движение тел в поле тяжести похоже на движение тел в неинерциальной системе отсчёта. Исходя из этого, Эйнштейн сформулировал принцип эквивалентности, суть которого состоит в следующем. Рассмотрим две лаборатории. Одна из них находится на Земле, где действует сила тяжести $\vec{g}$. А другая движется в пустом пространстве с ускорением $-\vec{g}$. Принцип эквивалентности утверждает, что *все* физические процессы будут протекать в обеих лабораториях одинаково. Теперь рассмотрим в качестве примера эксперимент, изображённый на рис. 27. Если исходить из принципа эквивалентности, то можно считать, что никакого поля тяжести нет, но всё, что изображено на рисунке, движется вверх с ускорением g. И в этом случае за время, пока фотон летит снизу вверх (время полёта фотона $t = L/c$, где L – высота башни), наблюдатель, находящийся наверху, получает дополнительную скорость $\Delta V = gt$ (он ведь движется вверх с ускорением g). И, таким образом, он обнаружит, что спектр излучения сдвинут в инфракрасную сторону, и величина красного смещения z равна:

$$z = \Delta V/c = gL/c^2 = \Delta\varphi/c^2$$

Используя принцип эквивалентности, можно рассчитать, какие из часов, изображённых на рис. 26, будут отставать. И если этот принцип верен, то будут отставать часы, находящиеся внизу.

Сформулируем теперь ещё раз вкратце суть доводов, приводимых в рамках общей теории относительности в пользу того, что время в гравитационном поле замедляется.

1. Установленное с высокой степенью точности равенство инертной и гравитационной масс считается экспериментальным подтверждением принципа эквивалентности.

2. Установленный факт гравитационного смещения спектральных линий также считается экспериментальным подтверждением принципа эквивалентности.

3. Из принципа эквивалентности следует, что время в гравитационном поле *замедляется*.

4. Кроме того, из экспериментально установленного факта гравитационного смещения спектральных линий *однозначно* делается вывод (см. предыдущий параграф), что время в гравитационном поле также замедляется.

Все эти доводы выглядят достаточно убедительными, и нужно было построить новую теорию (квантовую теорию гравитации), чтобы понять, где в них допущены ошибки.

Первая ошибка (можно сказать более мягко: логическая неточность, но от этого суть не меняется). Равенство инертной и гравитационной масс не является подтверждением принципа эквивалентности. Например, из Нового закона (2.1) также следует равенство инертной и гравитационной масс (§ 3.2), и поэтому экспериментальный факт этого равенства можно также рассматривать и как подтверждение Нового закона. А Новый закон противоречит принципу эквивалентности. Также нельзя рассматривать эффект гравитационного смещения спектральных линий как подтверждение принципа эквивалентности. Потому что этот эффект с равным правом можно рассматривать и как подтверждение квантовой теории гравитации (§ 4.10), которая целиком построена на Новом законе.

Вторая ошибка. Исходя из эффекта красного гравитационного смещения (рис. 27) нельзя сделать вывод, что время внизу башни “течёт медленнее”. Например, с точки зрения квантовой теории гравитации время внизу башни “течёт быстрее”, но несмотря на это наблюдатель, находящийся наверху, обнаружит, что фотоны “покраснели” (смотри предыдущий параграф).

Таким образом, из всех экспериментов, подтверждающих общую теорию относительности (гравитационное смещение спектральных линий; равенство инертной и тяжёлой масс; отклонение луча света вблизи Солнца; “задержка” радиосигнала; смещение перигелия Меркурия) нельзя сделать однозначный вывод о замедлении времени вблизи большой массы и о справедливости принципа эквивалентности. А прямые эксперименты по проверке непосредственного влияния величины гравитационного потенциала на скорость времени (рис. 26) не проводились.

Возражения против принципа эквивалентности не раз выдвигались в научной литературе (правда, по другим причинам). Смотри, например

[17;§61]. Предлагают даже совсем отказаться от этого принципа, а уравнения тяготения Эйнштейна (4.5) получить, исходя из предположения, что пространство-время искривляется вблизи масс. Такой путь построения общей теории относительности возможен. Смотри, например [17;§52]. Однако и в этом случае нельзя сделать однозначный вывод о замедлении времени вблизи большой массы. Действительно, из уравнений (4.5) следует, что квадрат интервала в слабом гравитационном поле, создаваемом точечной массой M, имеет следующий вид (4.12):

$$ds^2 = \left(1 - \frac{2GM}{rc^2}\right) c^2 dt^2 - \left(1 + \frac{2GM}{rc^2}\right) d\ell^2$$

И это выражение практически полностью (с точностью до членов порядка $(GM/rc^2)^2$) совпадает с выражением для квадрата интервала, рассчитанного в рамках квантовой теории гравитации (7.18):

$$ds^2 = \frac{c_0^2 dt_0^2}{(1 + \dfrac{2GM}{rc_0^2})} - (1 + \frac{2GM}{rc_0^2}) d\ell_0^2$$

Выражение (7.18) было рассчитано, исходя из предположения, что вблизи большой массы время течёт быстрее (см. § 7.5). Поэтому, исходя из выражения (4.12), нельзя сделать вывод о том, что время вблизи большой массы замедляется. Первый член выражения (7.18) в рамках квантовой теории гравитации имеет простой физический смысл. Вблизи большой массы неопределённость в движении частиц уменьшается, вследствие этого размеры атомов также уменьшаются. В результате возрастает энергия перехода электрона с одного уровня на другой (4.27), и, значит, повышается частота излучения любой спектральной линии (4.29), то есть длительность любого периодического процесса вблизи большой массы *сокращается,* и, следовательно, скорость его протекания *возрастает*.

Принципиально по-другому интерпретируется первый член в выражении (4.12) в рамках общей теории относительности. Если на большом удалении от массы M пройдёт одна секунда, то вблизи массы пройдут только доли секунды. То есть время замедляется вблизи большой массы. Такая интерпретация не имеет *физического* основания, потому что интервал времени – это длительность некоторого физического процесса. И, следовательно, если интервалы времени сокращаются (именно это выражено в уравнениях (4.12) и (7.18)), то скорость времени *возрастает*.

Ошибочность (или, лучше сказать, физическая несостоятельность) общей теории относительности заключается в том, что в ней нет чёткого определения ни времени, ни расстояния. И время, и расстояние в общей теории относительности рассматриваются в отрыве от конкретных физических процессов, то есть носят абстрактный характер. Этот недостаток общей теории относительности был указан ещё Эйнштейном (см. § 7.1) и рассматривался им как временный. Однако, по прошествии многих лет несмотря на значительные успехи квантовой механики, ситуация нисколько не изменилась. И в следующем параграфе мы рассмотрим траекторию движения частицы в гравитационном поле с точки зрения квантовой механики. И покажем, что предположение о замедлении времени вблизи большой массы в корне неверно.

§ 8.7 Частица в гравитационном поле

Хорошо известно, что все частицы (так же как и тела) притягиваются к Земле. Можно сказать, что со стороны Земли на частицу действует сила, и поэтому она притягивается к Земле (такой подход к гравитации применяется в теории тяготения Ньютона). А можно сказать, что частица движется по "прямой линии" (геодезической) в искривлённом пространстве-времени. И так как пространственно-временной масштаб изменяется в зависимости от высоты над поверхностью Земли, то с точки зрения неподвижного наблюдателя такая "прямая" будет искривлена. Именно такой подход к гравитации применяется как в общей теории относительности, так и в квантовой теории гравитации.

Напомним, что с точки зрения квантовой механики движущаяся частица представляет собой движущуюся волну. А волна движется из одной точки в другую так, чтобы разность фаз в конце и начале пути была минимальна [6;с.36] (смотри также § 4.8), то есть волна движется так, чтобы затратить на пройденный путь *минимум* собственных колебаний. А это, в свою очередь, означает, что частица движется из одной точки в другую так, чтобы затратить на пройденный путь минимум времени, *измеренного по собственным часам* (то есть в единицах времени кратных собственному периоду колебаний).

Предположим, что никакого гравитационного поля нет, и частица движется из точки A в точку B по прямой (смотри рис. 28). То есть частица движется так, чтобы затратить на пройденный путь минимум времени. Пусть она затрачивает на этот путь, к примеру, 100 секунд. Теперь предположим, что в верхней полуплоскости (над прямой AB) время стало течь медленнее, скажем на 10%, чем на прямой AB, а в нижней полуплоскости – на 10% быстрей. Вопрос: как в этом случае будет двигаться частица – по прямому отрезку AB, по кривой ACB или по кривой ADB?

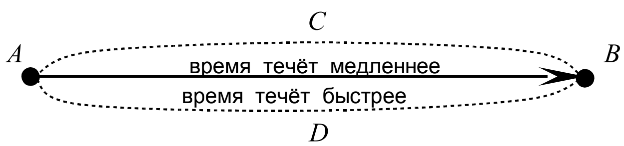


Рис. 28. Если время во всех точках пространства течёт одинаково быстро, то частица будет двигаться из точки *A* в точку *B* по прямой. Но если в нижней полуплоскости время течёт быстрее, а в верхней, наоборот, медленнее, то частица при движении немного завернёт в верхнюю полуплоскость, чтобы затратить на пройденный путь меньшую часть своей жизни.

Для простоты предположим, что отклонение частицы от прямой линии незначительно. То есть это означает, что по часам наблюдателя, находящегося на прямой AB, частица затратит примерно одинаковое время и на путь ACB, и на путь ADB, и на путь по прямому отрезку AB. Но ведь частица движется так, чтобы затратить на пройденный путь минимум времени *по собственным часам*. Для большей наглядности предположим, что частица не стабильна, и время её жизни как раз составляет 100 секунд.

И для частицы по времени будет короче тот путь, на который она затратит меньшую часть своей жизни. Если бы частица двигалась по кривой *ADB*, где время течёт на 10% быстрее, то ей потребовалось бы затратить на свой путь по собственным часам (которые в этом случае шли бы на 10% быстрее) больше времени – 110 секунд. То есть частица не долетела бы до точки *B*. А если бы частица двигалась по кривой *ACB*, где время течёт медленнее на 10%, то она затратила бы на свой путь по собственным часам, соответственно, 90 секунд. То есть она затратила бы на путь из точки *A* в точку *B* только 90% своей жизни. Следовательно, частица будет двигаться по кривой *ACB*. Итак, чтобы прийти из точки *A* в точку *B* как можно быстрее (по собственным часам) частица немного завернёт в ту область пространства, где время течёт медленнее.

Хорошо известно, что в гравитационном поле Земли частица движется по параболе. И при движении из точки *A* в точку *B* она немного заворачивает в область, находящуюся выше от поверхности Земли (см. рис. 29). Но это как раз и означает, что на большей высоте время течёт медленнее. То есть на большей высоте скорость протекания физических процессов несколько уменьшается. И, соответственно, частота колебаний любого периодического процесса несколько понижается (4.29).

Этот вывод полностью согласуется с квантовой теорией гравитации и показывает ошибочность общей теории относительности.

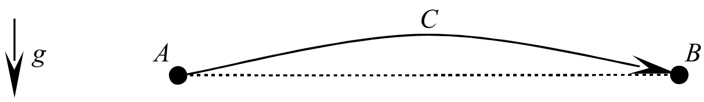


Рис. 29. Хорошо известно, что в поле тяжести Земли частица движется из точки *A* в точку *B* по параболе *ACB*. То есть для того, чтобы затратить на путь из точки *A* в точку *B* меньшее время (по своим часам), частица заворачивает немного вверх. И это означает, что на большей высоте время течёт медленнее

Таким образом, несложный анализ траектории движения частицы в поле тяжести Земли, выполненный в рамках квантовой механики, показывает, что одно из основных положений общей теории относительности (о замедлении времени вблизи большой массы) в корне неверно. Ввиду особой важности этого вывода, а также учитывая то, что такое возражение против основных положений общей теории относительности, по-видимому, никогда раньше в научной литературе не рассматривалось, давайте ещё раз кратко сформулируем его суть.

С точки зрения общей теории относительности на большей высоте время течёт быстрее. И любые часы (а, значит, и любые физические процессы), связанные с движущейся из точки *A* в точку *B* частицей (рис. 29), будут идти быстрее, чем любые часы, движущиеся по прямой *AB*. Более того, “истинная орбита часов это та, которая соответствует максимальному собственному времени” [10;с.158]. Это одно из ключевых положений общей теории относительности. Но, с другой стороны, с точки зрения квантовой механики движение частицы может быть полностью описано при помощи волновой Ψ–функции, которая определяет амплитуду плотности вероятности её местонахождения в пространстве. А любая волна *всегда* движется по кратчайшему оптическому пути, то есть так, чтобы была минимальна разность фаз в конце и начале пути (в противном случае все близкорасположенные к траектории пути приходили бы в точку B с разной фазой, и в результате вероятность обнаружить частицу в окрестности этой точке была бы равна нулю). Это означает, что волна при движении из точки A в точку B движется так, чтобы совершить за время своего пути как можно *меньшее* число собственных колебаний. То есть частица будет двигаться так, чтобы затратить на пройденный путь *минимум* собственного времени.

Итак, с точки зрения общей теории относительности частица движется из точки A в точку B так, чтобы затратить на пройденный путь *максимум* собственного времени. Из этой точки зрения следует, что время на большей высоте будет течь быстрее. А с точки зрения квантовой механики частица движется из точки A в точку B так, чтобы затратить на пройденный путь *минимум* собственного времени. Из этой точки зрения следует, что время на большой высоте будет течь медленнее. Таким образом, основное положение квантовой механики о том, что частица обладает волновыми свойствами, в корне противоречит основному положению общей теории относительности о том, что время вблизи большой массы замедляется. Так как истинность квантовой механики проверена в многочисленных экспериментах с очень высокой степенью точности, то можно сделать вывод, что ошибка заложена в фундаменте общей теории относительности. И, следовательно, из двух одинаковых часов отстанут те, которые расположены *выше* над земной поверхностью.

§ 8.8 Физический смысл интервала

И в квантовой теории гравитации и в общей теории относительности траектория движения частицы определяется одним и тем же уравнением (7.12):

$$\delta\int ds = 0 \tag{7.12}$$

Или уравнением (4.4):

$$\int\limits_{A,\,t_1}^{B,\,t_2} ds = \max \tag{4.4}$$

То есть частица движется по такой траектории, вдоль которой интервал s имеет максимальное значение. И в квантовой теории гравитации и в общей теории относительности выражение для квадрата интервала можно представить в следующем виде:

$$ds^2 = \frac{1}{k^2}\cdot c^2 dt^2 - k^2\cdot d\ell^2 \tag{8.4}$$

В общей теории относительности коэффициент k равен (4.8):

$$k = \frac{1}{\sqrt{1-\dfrac{2GM}{rc^2}}} \tag{4.8}$$

А в квантовой теории гравитации он равен (смотри уравнение (7.18)):

$$k = \sqrt{1+\frac{2GM}{rc^2}} \tag{8.5}$$

То есть коэффициент “кривизны” k вдали от массы M стремится к единице, а вблизи массы он возрастает: $k > 1$. Таким образом, и в квантовой теории гравитации и в общей теории относительности уравнение движения частицы в гравитационном поле имеет следующий вид:

$$\int ds = \int \sqrt{(\frac{1}{k}\cdot c\ \ dt)^2 - (k\cdot d\ell)^2} = \max \tag{8.6}$$

Это уравнение движения получено из принципа наименьшего действия: $\delta\int dS = 0$ или $\int dS = \min$. Так как действие пропорционально интервалу, взятому со знаком минус: $dS \sim -ds$ [5;§87], то минимум действия соответствует максимуму интервала. Поэтому физический смысл уравнения (8.6) тот же самый, что и физический смысл принципа наименьшего действия. Как уже отмечалось в § 7.4, физический смысл принципа наименьшего действия стал вполне ясен только после создания квантовой механики (до создания квантовой механики считалось, что представление уравнений движения в виде принципа наименьшего действия – это только удобный математический приём). Его смысл очень простой. Любая частица обладает волновыми свойствами. А любая волна движется так, чтобы разность фаз в конце и в начале пути была минимальна, то есть волна движется по кратчайшему оптическому пути. А так как действие изменяется пропорционально фазе, то минимум фазы соответствует минимальному действию [6;§6].

Для наглядности длину волны движущейся частицы можно сравнить с шагом. Частица движется из одной точки в другую таким образом, чтобы затратить на пройденный путь *наименьшее* число шагов. Именно в этом и состоит физический смысл принципа наименьшего действия, а, значит, и физический смысл максимума интервала в уравнении (8.6). Для того чтобы частица затратила на пройденный путь минимум шагов, она должна, во-первых, двигаться по наиболее короткому пути. А во-вторых, двигаться по такому пути, на котором у неё будет наибольший шаг.

Рассмотрим простейший пример. Если нет гравитационного поля, и пространство однородно, то шаг (длина волны) частицы везде один и тот же. Поэтому частица движется из точки A в точку B по прямой линии. Теперь предположим, что частица движется в гравитационном поле массы M (см. рис. 30). Из-за того что масштаб вблизи массы изменяется ($k > 1$), кратчайшее расстояние между точками A и B будет уже не прямая линия AB, а некоторая кривая ACB. Если мы возьмём метровый эталон и измерим им расстояние между точками A и B по прямой линии и по кривой ACB, то длина кривой ACB окажется короче. Это произойдёт потому, что вблизи массы M уменьшится неопределённость в движении частиц. Соответственно, уменьшатся размеры атомов, и, значит, уменьшится длина метрового эталона. Поэтому длина прямой линии AB, измеренная в метрах (или любых других единицах длины) будет больше, чем длина кривой ACB (см. рис. 5). Однако частица всё равно не будет двигаться по кривой ACB. Она будет двигаться по ещё более выпуклой кривой ADB. Длина кривой ADB больше, чем длина кривой ACB, но зато шаг (длина волны) частицы на кривой ADB будет больше и поэтому частица, двигаясь по кривой ADB, затратит меньше шагов, чем если бы она двигалась по "кратчайшей" кривой ACB.

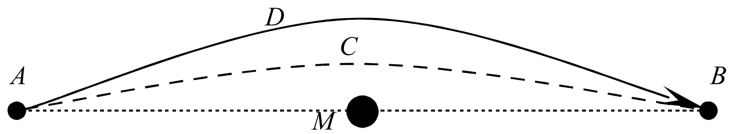


Рис. 30.

Рассмотрим внимательно уравнение (8.6). Для того чтобы интервал в этом уравнении имел максимум, частица должна двигаться по такой траектории, чтобы первый член, стоящий под знаком квадратного корня $(\frac{1}{k}\cdot c\,dt)^2$ был как можно больше, а второй член $(k\cdot d\ell)^2$ был как можно меньше. Физический смысл второго члена понятен. Вблизи массы M величина $d\ell$ умножается на величину $k>1$. И в общей теории относительности, и в квантовой теории гравитации это означает, что все расстояния вблизи массы увеличиваются в k раз. Это также означает, что вблизи массы все эталоны длины уменьшаются в k раз. Теперь рассмотрим первый член, стоящий под *корнем* $(\frac{1}{k}\cdot c\,dt)^2$. Вблизи массы M величина dt делится на величину $k>1$. Это означает, что все интервалы времени вблизи массы сокращаются в k раз. Что это означает? Сокращение интервалов времени можно интерпретировать по-разному.

1) С точки зрения общей теории относительности сокращение интервалов времени означает следующее. Если на большом удалении от массы пройдёт 1 секунда, то вблизи массы пройдут только доли секунды. Следовательно, время вблизи массы замедляется.

2) Любой интервал времени – это длительность какого-нибудь физического процесса. Поэтому с точки зрения квантовой теории гравитации сокращение интервалов времени означает *сокращение длительности физических процессов*. Если на большом расстоянии от массы длительность некоторого физического процесса составляет 1 секунду, то вблизи массы длительность этого же процесса составит доли секунды. Следовательно, время вблизи массы ускоряется.

Чтобы понять, какая их этих интерпретаций истинна, достаточно вспомнить, что означает величина cdt. Эта величина *определяет* эталон длины (см. § 7.1). Таким образом, вблизи массы M длины всех эталонов и, соответственно, длины всех физических объектов уменьшаются в k раз (как раз именно поэтому все расстояния между точками вблизи массы M увеличиваются в k раз). Следовательно, шаг (или длина волны) движущейся частицы вблизи массы M также уменьшается в k раз, То есть величина cdt пропорциональна длине волны, или шагу движущейся частицы. Это означает, что период колебаний волны (связанной с движущейся частицей) также *уменьшается* вблизи большой массы, а частота колебаний, соответственно, *повышается*. То есть время вблизи массы течёт быстрее. Всё это полностью согласуется с квантовой теорией гравитации и показывает ошибочность общей теории относительности. Ошибка, которая содержится в фундаменте общей теории относительности, достаточно интересна и имеет смысл обсудить её.

В механике Ньютона пространство и время рассматриваются отдельно друг от друга. Одно из достижений специальной теории относительности – это объединение пространства и времени в единое целое. Тем не менее, несмотря на это объединение, время *радикально* отличается от расстояния. Расстояние между двумя точками вдоль некоторой линии – это величина, равная числу единичных эталонов длины, которые можно разместить между точками вдоль этой линии. Если эталон длины уменьшится, то все расстояния между точками возрастут (см. рис. 5). Например, вблизи Солнца все эталоны длины (размер атома, длина волны спектральной линии и т. д.) уменьшаются, и поэтому все расстояния вблизи Солнца возрастают. А интервал времени – это величина, равная числу периодов определённого периодического процесса, длительность которого взята в качестве эталона. И если эталон времени уменьшится, то все интервалы времени также уменьшаться. Например, интервал времени в одну секунду по определению равен 9 192 631 770 периодам излучения определённой спектральной линии атома цезия (см. § 7.1). Если период излучения данной спектральной линии вблизи Солнца уменьшится, то длительность одной секунды вблизи Солнца также уменьшится. Таким образом, основная ошибка общей теории относительности состоит в том, что в ней время рассматривается не как длительность физического процесса, а как расстояние между точками на воображаемой оси времени (по аналогии с расстоянием между точками в обычном пространстве).

В заключение параграфа повторим ещё раз, в чём заключён физический смысл максимума интервала в уравнении (8.6). Величина $\frac{1}{k}\cdot c\,dt$ пропорциональна длине волны или шагу движущейся частицы. Вблизи массы M все длины волн уменьшаются в k раз. И, соответственно, все периоды колебаний этих волн также уменьшаются. Величина $k \cdot d\ell$ – это расстояние между точками в гравитационном поле. Так как вблизи массы M все длины уменьшаются в k раз, то все расстояния между точками возрастают в k раз. И частица движется по такой траектории, чтобы её шаг, который пропорционален $\frac{1}{k}\cdot c\,dt$, был как можно больше, а пройденное расстояние $k \cdot d\ell$ было как можно меньше. В этом и состоит физический смысл максимума интервала в уравнении (8.6), см. рис. 24.

§ 8.9 Как расставить пределы интегрирования в уравнении движения?

Траектория движения частицы в гравитационном поле определяется уравнением (4.4):

$$s_L = \int_{A,\,t_1}^{B,\,t_2} ds = \max \tag{4.4}$$

или:

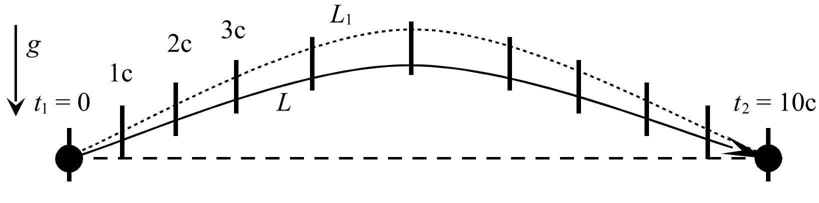
$$\delta\, s_L = \delta \int_{A,\,t_1}^{B,\,t_2} ds = 0$$

То есть в момент времени t_1 частица находилась в точке A, а в момент времени t_2 – в точке B. И частица движется в 4-х мерном пространстве-времени из точки $a = (A, t_1)$ в точку $b = (B, t_2)$ по такой траектории L, чтобы пройденный путь s_L имел максимальную длину. В гравитационном поле, создаваемом массой M, уравнение (4.4) можно представить в виде уравнения (8.6):

$$s_L = \int_{A,\,t_1}^{B,\,t_2} ds = \int_{A,\,t_1}^{B,\,t_2} \sqrt{\left(\frac{1}{k}\cdot c\,dt\right)^2 - (k\cdot d\ell)^2} = \max \tag{8.6}$$

Для того чтобы найти истинную траекторию движения, мы должны “закрепить” концы траектории L в точках $a = (A, t_1)$ и $b = (B, t_2)$ и после этого произвести вариацию (бесконечно малое отклонение) траектории. Для истинной траектории движения изменение её длины s_L при вариации будет равно нулю. Физический смысл точек A и B понятен. Мы можем зафиксировать эти точки в пространстве при помощи двух неподвижных тел. Например, точка A – это источник, из которого вылетела частица в момент времени t_1, а точка B – это детектор, в который прилетела частица в момент времени t_2 (смотри рис. 31).

Теперь рассмотрим физический смысл моментов времени t_1 и t_2. Этот смысл не однозначен. Мы ведь не можем зафиксировать моменты времени t_1 и t_2 на оси времени так же, как обычные точки в обычном пространстве при помощи реальных тел. Моменты времени t_1 и t_2 – это всего лишь показания каких-либо часов. По каким часам мы должны измерять моменты времени t_1 и t_2? Здесь возможны два варианта. Во-первых, мы можем измерять время по неподвижным часам. Например, по синхронизованным часам, находящимся в точках A и B. Во-вторых, мы можем измерять время по часам, связанным с движущейся частицей.



A *B*

Рис. 31. Частица движется в гравитационном поле $\vec{g}$ из точки A в точку B. Предположим, что когда частица находилась в точке A, период колебаний связанной с ней волны составлял ровно одну секунду: T_A = 1с. Предположим, что волна, связанная с частицей, двигаясь из точки A в точку B, совершает ровно 10 колебаний. Это означает, что время движения частицы составляет ровно 10 секунд по её собственным часам. При движении вдоль линии L_1, близко расположенной к L, волна также должна совершить ровно 10 колебаний, то есть также затратить на пройденный путь 10 секунд по собственным часам. Поэтому если в уравнении (8.6) t_1 = 0, t_2 = 10с, то мы должны “зафиксировать” интервал времени длительностью в 10 секунд именно по собственным часам частицы. При этом, очевидно, что время движения частицы вдоль линии L_1 будет отличаться от времени движения вдоль линии L, если это время измерять по неподвижным часам.

Предположим, для определённости, что t_1 = 0, t_2 = 10с. То есть частица в нулевой момент времени вылетела из точки A и через 10 секунд прилетела в точку B. Для того чтобы найти вариацию δs_L, мы должны рассчитать интервал s вдоль линии L_1, бесконечно близко расположенной к линии L. При этом длительность полёта частицы вдоль линии L_1 также должна составлять 10 секунд. Мы можем считать, что время движения частицы вдоль линии L_1 составляет 10 секунд по неподвижным часам. А можем считать, что собственное время движения частицы вдоль линии L_1 составляет 10 секунд. Таким образом, нужно сделать выбор либо в пользу неподвижных часов, либо в пользу часов, связанных с движущейся частицей. Этот выбор сделать нетрудно, если вспомнить, как движется волна. При движении любая волна за один свой период колебаний T проходит расстояние, равное длине волны λ. То есть в собственных единицах измерения волна движется в пространстве-времени равномерно и прямолинейно (по кратчайшему оптическому пути). Пусть, например, волна, движущаяся из точки A в точку B вдоль линии L (волна амплитуды вероятности, связанной с движущейся частицей), совершает точно 10 колебаний. Это означает, что время её полёта составляет точно 10 периодов, и вдоль линии L укладывается точно 10 длин волн. Вдоль линии L_1 также должно укладываться точно 10 длин волн и 10 периодов колебаний. То есть волна будет двигаться по такой траектории L, чтобы все близкорасположенные к ней пути были в одной фазе с L. В противном случае волна приходила бы в точку B по разным путям с различными фазами, которые взаимно компенсировали друг друга. И в результате вероятность обнаружить частицу в окрестности точки B была бы равна нулю. Можно сказать, что частица случайным образом движется по разным траекториям. Но вероятность обнаружить частицу в окрестности любой траектории, которая не удовлетворяет условию (4.4) или (8.6), практически равна нулю.

Таким образом, время движения волны, связанной с движущейся из точки A в точку B частицей, составляет ровно 10 периодов колебаний и вдоль линии L, и вдоль любой линии L_1, близко расположенной к L. Это означает, что собственное время движения частицы будет одинаково и вдоль линии L, и вдоль линии L_1. И это также означает, что время движения частицы, измеренное по неподвижным часам, будет разным для траекторий L и L_1. Отсюда следует, что моменты времени t_1 и t_2 в уравнении (4.4) или (8.6) необходимо измерять по часам, связанным с движущейся частицей. В основе такого выбора лежит простой физический смысл. Для того чтобы однозначно задать траекторию движения частицы в гравитационном поле, нужно определить, во-первых, две точки A и B, лежащие на этой траектории. И, во-вторых, указать, сколько периодов колебаний должна совершить волна, связанная с движущейся из точки A в точку B частицей.

В связи с вышесказанным можно дать следующую интерпретацию уравнению (8.6). Моменты времени t_1 и t_2 измеряются по часам, связанным с движущейся частицей. И величина dt – это, следовательно, величина пропорциональная собственному времени движущейся частицы, то есть величина пропорциональная периоду собственных колебаний волны, связанной с движущейся частицей. При движении из точки A в точку B, частица заворачивает в ту область пространства, где величина коэффициента k меньше, а длительность любого физического процесса (в том числе и периода собственных колебаний), соответственно, больше. Поэтому при заданном числе периодов колебаний N (то есть при заданных моментах времени t_1 и t_2 на часах, связанных с движущейся частицей) волна, связанная с частицей, будет двигаться так, чтобы длительность каждого периода колебаний T_k была как можно больше и, следовательно, чтобы общее время движения $\Delta t = \sum_{k=1}^{N} T_k$ было также как можно больше. И так как на большей высоте над земной поверхностью время течёт медленнее (увеличивается продолжительность любого физического процесса T), то именно поэтому частица движется по выпуклой вверх параболе.

Итак, частица-волна движется из точки A в точку B так, чтобы затратить на пройденный путь минимум шагов (минимум собственных колебаний), то есть минимум собственного времени. А в том случае, когда число шагов, которые частица-волна должна сделать, двигаясь из точки A в точку B, уже определено (то есть определён интервал собствен-ного времени движения частицы (t_1, t_2) в уравнении (4.4) или (8.6)), то частица-волна движется так, чтобы продолжительность каждого шага была максимальна. В результате, при заданном собственном времени движения частица-волна движется из точки A в точку B так, чтобы затратить на пройденный путь максимум времени по неподвижным часам.

Таким образом, при заданном времени движения по неподвижным часам частица-волна движется так, чтобы затратить на пройденный путь минимум собственного времени (принцип Ферма). И, наоборот, при заданном собственном времени движения частица-волна движется по такой траектории, чтобы затратить на пройденный путь максимум времени по неподвижным часам (максимум интервала в уравнении (4.4) или (8.6)).

С точки зрения общей теории относительности моменты времени t_1 и t_2 в уравнении (4.4) или (8.6) – это моменты времени, измеренные по неподвижным часам. Это так называемое лабораторное, или мировое время. Такая принципиальная ошибка в интерпретации пределов интегрирования вызвана непониманием физического смысла времени.

Напомним, что в рамках общей теории относительности длительность времени рассматривается по аналогии с расстоянием в обычном пространстве, что неверно (смотри § 8.8). А неправильная интерпретация временных пределов интегрирования в уравнении (4.4) или (8.6) приводит, в свою очередь, к неправильному пониманию физического смысла этого уравнения. Действительно, если считать, что моменты времени t_1 и t_2 должны быть измерены по неподвижным часам, то из уравнения (4.4) или (8.6) можно сделать следующий вывод. Частица будет двигаться из точки A в точку B так, чтобы затратить на пройденный путь максимум собственного времени [10,§7.3], то есть так, чтобы за время своего движения волна, связанная с движущейся частицей, совершила как можно большее число собственных колебаний. В результате физический смысл уравнения (4.4) или (8.6) искажается на противоположный. Получается, что частица-волна движется так, чтобы затратить на пройденный путь не минимум собственных колебаний, а наоборот – максимум! С этой, очевидно неверной, точки зрения, в общей теории относительности и делается вывод о том, что время на большей высоте течёт быстрее. С этой точки зрения также делается неверный вывод о том, что скорость распространения света уменьшается вблизи большой массы. Давайте разберём этот вопрос.

Скорость света вблизи большой массы больше, чем вдали от неё (2.1). Однако частота световой волны вблизи большой массы возрастает в процентном отношении ещё быстрее, чем скорость (см. § 4.8). Поэтому, двигаясь в гравитационном поле, световая волна совершит большее число собственных колебаний, чем если бы она двигалась в пустом пространстве (рис. 32). То есть *собственное время* движения световой волны в гравитационном поле *больше*, чем в пустом пространстве. В общей теории относительности из-за неправильной интерпретации вре-менных пределов интегрирования в уравнении (4.4) или (8.6) происходит подмена собственного времени на мировое время. И отсюда уже делается неверный вывод о том, что время движения света в гравитационном поле больше, чем в пустом пространстве. То есть делается ошибочный вывод о том, что скорость света уменьшается вблизи большой массы.

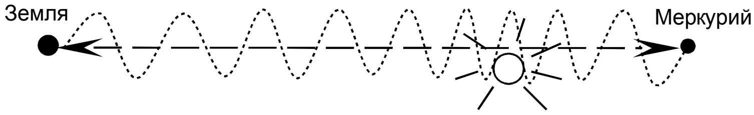


Рис. 32. Вблизи Солнца частота сигнала возрастает, и поэтому собственное время движения сигнала в гравитационном поле также возрастает.

§ 8.10 Две интерпретации красного смещения

Известно, что свет (электромагнитные волны) обладает давлением и энергией. Так как любая энергия обладает инертной массой, то свет также обладает инертной массой. Если внутри резервуара с зеркальными стенками движется свет с энергией E, то инертная масса резервуара будет больше на величину $\Delta m = E/c^2$. Так как инертная масса всегда равна гравитационной массе, то, соответственно, свет обладает также и гравитационной массой. Резервуар, внутри которого движется свет, будет *тяжелее* пустого резервуара. Если такой резервуар упадёт в поле тяжести земли с высоты *H*, то он совершит бóльшую работу, чем если он упадёт пустой. Эта дополнительная работа *A* будет равна:

$$A = \frac{E}{c^2} gH \tag{8.7}$$

То есть свет и, значит, каждый фотон *имеет вес* и *участвует в гравитационном взаимодействии.* В частности, фотоны, пролетая вблизи Солнца, отклоняются на угол в соответствии с уравнением (4.14). А когда фотоны вылетают из гравитационного поля, они теряют энергию и "краснеют". Всё это хорошо известно. И на первый взгляд очень просто. Однако это не так. Давайте внимательно разберём эффект гравитационного смещения спектральных линий.

Атом, находящийся в возбуждённом состоянии у основания башни, испускает фотон (смотри рис. 33). Этот фотон летит вверх, где его частоту сравнивают с частотой фотона, испущенного точно таким же атомом, но находящимся на верху башни. Пусть ω_0 – частота фотона, испущенного атомом, находящимся внизу, а ω_{0H} – частота того же фотона, когда он, преодолевая гравитационное притяжение, долетит до верха башни; ω_H – частота фотона, испущенного атомом, находящимся наверху. Наблюдатель, находящийся на верху башни, регистрирует оба фотона и сравнивает между собой их частоты, то есть величины ω_{0H} и ω_H.

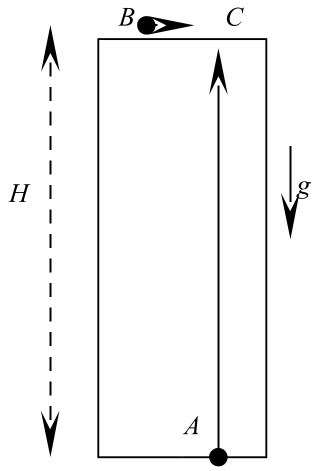


Рис. 33. Атом находится в возбуждённом состоянии у основания башни в точке *A*. Он испускает фотон, который движется вверх к точке *C*. На верху башни, в точке *B*, находится точно такой же атом, как и внизу. Он также испускает фотон, который движется к точке *C*. В точке *C* находится наблюдатель. Он регистрирует оба фотона, сравнивает между собой их частоты и определяет относительную разность этих частот, то есть величину гравитационного смещения спектральной линии.

Рассчитаем величину красного смещения *z*, которая по определению равна:

$$z = \frac{\omega_H - \omega_{0H}}{\omega_H} \tag{8.8}$$

В своей работе "О влиянии силы тяжести на распространение света" (§ 2 "О тяжести энергии") [1] Эйнштейн рассчитал величину гравитационного смещения следующим образом. Возбуждённый атом обладает большей энергией, чем невозбуждённый атом. Следовательно, он обладает большей инертной, а, значит, и гравитационной массой. Когда атом излучает фотон, его масса уменьшается, потому что он передаёт фотону вместе с энергией E также и гравитационную массу. Гравитационная масса фотона μ равна:

$$\mu = \frac{E}{c^2} = \frac{\hbar\omega}{c^2} \tag{8.9}$$

Когда фотон движется вверх, он совершает работу против силы тяжести:

$$A = \mu gH = \frac{E}{c^2} gH \tag{8.10}$$

Поэтому его энергия E изменяется на величину $\Delta E = -A$. И, соответственно, относительное изменение энергии будет равно:

$$\frac{\Delta E}{E} = -\frac{gH}{c^2} \tag{8.11}$$

Учитывая, что $E = \hbar\omega$, получаем следующую формулу для гравитационного смещения спектральных линий:

$$\frac{\Delta\omega}{\omega} = -\frac{gH}{c^2} \tag{8.12}$$

Таким образом, красное гравитационное смещение можно объяснить следующим образом: фотон, преодолевая гравитационное притяжение, теряет энергию и в результате “краснеет”. При таких рассуждениях негласно предполагается, что частота фотона ω_0, испущенного атомом, находящимся у основания башни, в точности равна частоте фотона ω_H, испущенного атомом, находящимся на верху башни:

$$\omega_0 = \omega_H \tag{8.13}$$

В настоящее время уравнение (8.12) для величины гравитационного смещения экспериментально подтверждено с точностью около 0,1%.

С точки зрения общей теории относительности время внизу башни течёт *медленнее*, чем наверху, то есть внизу башни *все физические процессы протекают медленнее*. Но ведь это означает, что частота фотона, испущенного атомом, находящимся внизу, *уже в момент испускания будет ниже*, чем частота фотона, испущенного точно таким же атомом, находящимся наверху:

$$\omega_0 < \omega_H \tag{8.14}$$

С точки зрения общей теории относительности относительное замедление времени внизу башни составляет величину (8.1): $\frac{gH}{c^2}$.

Поэтому фотон, испущенный атомом, находящимся внизу башни, уже в момент своего испускания будет иметь частоту ω_0, равную:

$$\omega_0 = \omega_H\left(1 - \frac{gH}{c^2}\right) \tag{8.15}$$

То есть, уже в момент своего испускания фотон имеет красное смещение z, равное:

$$z = \frac{\omega_{H} - \omega_0}{\omega_{H}} = \frac{gH}{c^2} \qquad (8.16)$$

Теперь можно задать следующий вопрос: теряет или нет фотон энергию, пока он летит от основания башни к её вершине? Если он теряет энергию, то его частота будет уменьшаться, и, следовательно, величина красного смещения будет *больше*, чем следует из уравнения (8.12). Используя уравнения (8.9–8.12), можно рассчитать, какая будет частота у фотона, когда он долетит до вершины башни:

$$\omega_{0H} = \omega_0 (1 - \frac{gH}{c^2}) \qquad (8.17)$$

И наблюдатель наверху зарегистрирует следующее значение красного смещения: $z = \frac{\omega_{H} - \omega_{0H}}{\omega_{H}} = 1 - \frac{\omega_0}{\omega_{H}}(1 - \frac{gH}{c^2})$. В результате получаем:

$$z = 1 - (1 - \frac{gH}{c^2})^2 = \frac{2gH}{c^2} \qquad (8.18)$$

Эта величина ровно в два раза больше, чем экспериментально подтверждённая величина (8.12). При этом одна половина величины красного смещения (8.18) вызвана тем, что фотон, испущенный атомом у основания башни, уже в момент своего испускания имеет красное смещение $\frac{gH}{c^2}$. А вторая половина величины красного смещения (8.18) вызвана тем, что фотон теряет энергию, когда движется к вершине башни. В связи с вышесказанным существуют две интерпретации красного смещения [58-60].

Первая интерпретация. Фотон имеет гравитационную массу, поэтому он теряет энергию на преодоление гравитационного поля и в результате краснеет.

Вторая интерпретация. Время внизу башни течёт медленнее, чем наверху, и поэтому фотон, испущенный атомом у основания башни, уже в момент испускания имеет более низкую частоту. Но когда он летит вверх, его частота остаётся неизменной.

Очевидно, что эти две интерпретации противоречат друг другу. Если мы предполагаем, что время у основания башни течёт медленнее, то тогда мы вынуждены сделать вывод, что частота фотона, когда он движется вверх в поле тяжести Земли, не изменяется. То есть фотон *не теряет свою энергию* на преодоление гравитационного поля. А если мы предполагаем, что фотон теряет энергию, пока он движется от основания башни к вершине, то тогда мы вынуждены сделать вывод, что частота фотона в момент его испускания у основания башни, была точно такая же, как частота фотона, испущенная атомом наверху. И, следовательно, время у основания башни также течёт с той же самой скоростью, что и наверху. Противоречивость этих интерпретаций обсуждается, например, в [61].

Теперь подведём итоги. С точки зрения общей теории относительности время у основания башни течёт медленнее. Поэтому уже в момент испускания фотон имеет красное смещение $\frac{gH}{c^2}$. Экспериментально установлено, что когда фотон прилетает на верх башни, он также имеет красное смещение $\frac{gH}{c^2}$. Следовательно, с точки зрения общей теории относительности частота фотона, пока он движется вверх, преодолевая гравитационное притяжение, *не изменяется.* Эта тема достаточно подробно обсуждалась в [62]. Кроме того, с точки зрения общей теории относительности скорость света уменьшается вблизи большой массы и возрастает вдали от неё (см. § 4.4). И поэтому, в рамках общей теории относительности, можно сделать следующий вывод. Когда фотон, преодолевая притяжение гравитационного поля, вылетает из него, то его частота и энергия не изменяются, а скорость – возрастает.

Такой вывод очень сильно противоречит здравому смыслу. Да к тому же, он не имеет экспериментального подтверждения.

Самое слабое звено в этом выводе – это предположение о замедлении времени у основания башни. До настоящего времени такое предположение не было проверено, то есть не был проведён простой эксперимент, описанный в § 8.3. Все выводы о замедлении времени вблизи большой массы основаны на весьма сомнительных предположениях. Они основаны либо на сомнительных экспериментах с часами на самолётах и ракетах (см. § 8.4). Либо на ошибочном предположении о том, что электромагнитные волны (свет) представляют собой колебания, подобные звуковым колебаниям в среде (см. § 8.5). Либо на неправильном толковании выражения (4.12) или (7.18) для квадрата интервала в гравитационном поле (см. § 8.8, 8.9).

§ 8.11 Новая интерпретация красного смещения

В предыдущем параграфе мы рассмотрели две интерпретации красного смещения. Первая интерпретация имеет некоторый физический смысл, но она считается неверной. Вторая интерпретация не имеет ни малейшего физического смысла, но именно она считается правильной. Логика рассуждений здесь следующая. Первая интерпретация сделана в рамках теории тяготения Ньютона. А эта теория становится неверной при описании движения релятивистских частиц. Например, она даёт неверное значение для угла отклонения фотона, пролетающего вблизи Солнца (4.15). Поэтому и интерпретация красного смещения в рамках теории Ньютона также считается неверной. Кроме того, из уравнений общей теории относительности (4.5) следует выражение для квадрата интервала (4.12), которое экспериментально проверено в гравитационном поле Солнца с точностью около 0,1%. А из этого выражения следует, что масштаб времени изменяется вблизи большой массы. Поэтому, по крайней мере, какая-то часть гравитационного смещения (8.12) вызвана тем, что у основания башни изменяется скорость течения времени, то есть $\omega_0 \neq \omega_H$. А в первой интерпретации предполагается, что $\omega_0 = \omega_H$. Из этого также следует, что первая интерпретация неверна.

А вот какие доводы приводятся в пользу второй интерпретации. Экспериментально установлено, что величина красного смещения равна $\frac{gH}{c^2}$. Уравнение для квадрата интервала (4.12) также экспериментально проверено. Из этого уравнения делается вывод, что время вблизи большой массы замедляется. В частности, у основания башни относительное замедление времени составляет величину $\frac{gH}{c^2}$, то есть в точности равно величине красного смещения. А отсюда уже делается вывод, что частота фотона, когда он движется вверх (или вниз) не изменяется.

Как уже отмечалось в § 8.8, ошибочность такого рассуждения заключена в неправильной интерпретации уравнения для квадрата интервала (4.12) или (7.18). Из обоих этих уравнений (в данном случае неважно, какое из них более правильное) следует, что время вблизи большой массы не замедляется, а, наоборот, ускоряется. И, исходя из этого, мы сейчас сформулируем принципиально новый взгляд на происхождение красного смещения (8.12).

В § 4.10, основываясь на новой теории и используя уравнение (4.27) для энергетических уровней атома, мы вывели уравнение для гравитационного смещения спектральных линий (4.31). А также вытекающее из него уравнение (4.32) или (4.33) для слабого поля. И сейчас мы разберём физический смысл этого уравнения на простом примере красного смещения, изображённого на рис. 33.

Во-первых, у основания башни скорость течения времени не уменьшается, а возрастает, причём не на величину $\frac{gH}{c^2}$, а на вдвое большую величину $\frac{2gH}{c^2}$. Поэтому частота фотона ω_0, испущенного атомом у основания башни, выше, чем частота фотона ω_H, испущенного атомом на верху башни:

$$\omega_0 = \omega_H \left(1+\frac{2gH}{c^2}\right) \qquad (8.19)$$

Во-вторых, пока фотон летит вверх, он теряет энергию на преодоление гравитационного притяжения в соответствии с уравнениями (8.9–8.11). Единственное и существенное отличие от этих уравнений состоит в том, что разность гравитационных потенциалов между верхом башни и её основанием равна не gH, а $2gH$ (см. § 3.5), то есть в два раза больше. Поэтому фотон теряет в два раза больше энергии, чем это следует из уравнения (8.11), то есть:

$$\frac{\Delta E}{E} = -2\frac{gH}{c^2} \qquad (8.20)$$

Или:

$$E_{0H} = E_0\left(1-2\frac{gH}{c^2}\right) \qquad (8.21)$$

Здесь E_0 – энергия фотона в момент его испускания нижним атомом, а E_{0H} – его энергия, когда он долетает до верха башни.

В-третьих, величина постоянной Планка на вершине башни больше, чем у её основания. Относительное изменение постоянной Планка составляет следующую величину (2.10):

$$\frac{\Delta \hbar}{\hbar} = \frac{\Delta \Phi}{2c^2} = \frac{2gH}{2c^2} = \frac{gH}{c^2} \tag{8.22}$$

Или:

$$\hbar_{\text{H}} = \hbar_0 (1 + \frac{gH}{c^2}) \tag{8.23}$$

Здесь $\hbar_0$ – величина постоянной Планка у основания башни, $\hbar_{\text{H}}$ – величина постоянной Планка на её вершине. В результате частота фотона, когда он долетает до вершины башни, равна:

$$\omega_{0\text{H}} = \frac{E_{0\text{H}}}{\hbar_{\text{H}}} = \frac{E_0 (1 - \frac{2gH}{c^2})}{\hbar_0 (1 + \frac{gH}{c^2})} = \omega_0 (1 - \frac{3gH}{c^2}) \tag{8.24}$$

Таким образом, пока фотон летит вверх, относительное изменение (покраснение) его частоты составляет величину:

$$\frac{\omega_{0\text{H}} - \omega_0}{\omega_{0\text{H}}} = -\frac{3gH}{c^2} \tag{8.25}$$

То есть относительное понижение частоты фотона ровно в три раза больше, чем это следует из уравнения (8.12). При этом 2/3 этой величины, то есть $\frac{2gH}{c^2}$ вызвано уменьшением энергии фотона (8.20), а 1/3, то есть $\frac{gH}{c^2}$, вызвана возрастанием постоянной Планка (8.22).

Итак, частота фотона ω_0, испущенного атомом у основания башни, *выше*, чем частота фотона ω_{H}, испущенного точно таким же атомом на верху башни, на относительную величину $\frac{2gH}{c^2}$. Пока фотон летит вверх, относительное понижение его частоты составляет величину $\frac{3gH}{c^2}$. В результате наблюдатель, находящийся наверху, регистрирует значение красного смещения, равное $\frac{gH}{c^2}$.

Новая интерпретация красного смещения сохраняет физический смысл первой интерпретации: фотон, преодолевая гравитационное притяжение, *теряет энергию*. Кроме того, новая интерпретация учитывает достижения второй интерпретации: скорость течения времени у основания башни *другая*, чем на вершине и поэтому частота излучения атома у основания башни *отличается* от частоты излучения точно такого же атома, находящегося на верху башни. Таким образом, новая интерпретация красного смещения совмещает в себе положительные стороны предыдущих интерпретаций, но не содержит их недостатки.

§ 8.12 Скорость времени

Для того чтобы выяснить, какая из трёх интерпретаций красного смещения истинна, необходимо и достаточно провести простой эксперимент, предложенный в § 8.3. Его можно осуществить, например, следующим образом [63]. Нужно взять двое совершенно одинаковых, высокоточных часов, и сравнить между собой их показания. Затем одни часы следует поднять на некоторую высоту, например, на гору или высотное здание. При относительной погрешности часов менее чем 10^{-15}, их достаточно поднять на высоту более 100 метров. Через достаточно длительное время аналогичным способом на ту же высоту следует поднять вторые часы, для того чтобы сравнить их показания с первыми часами. Если окажется, что показания часов в точности совпадут, то, следовательно, верна первая интерпретация. Если окажется, что вторые часы отстанут на относительную величину $\frac{gH}{c^2}$, то верна вторая интерпретация. И если, наконец, вторые часы, наоборот, уйдут вперёд на относительную величину $\frac{2gH}{c^2}$, то это будет означать, что справедлива новая интерпретация.

Наиболее интересным результатом эксперимента будет, конечно, подтверждение новой интерпретации красного смещения, то есть если эксперимент подтвердит истинность квантовой теории гравитации. Потому что в этом случае мы получим наибольшее количество новой информации об окружающем нас мире. Сейчас мы перечислим наиболее важные следствия, вытекающие из данного эксперимента, в том случае, если он, в соответствии с квантовой теорией гравитации, подтвердит, что при уменьшении высоты над земной поверхностью скорость времени возрастает на относительную величину $\frac{2gH}{c^2}$.

1) Это будет означать, что принцип эквивалентности неверен, потому что из принципа эквивалентности следует, что время на меньшей высоте будет замедляться. То есть гравитационное поле *принципиально* отличается от неинерциальной системы отсчёта, и, значит, уравнения общей теории относительности даже в случае слабого поля неверно интерпретируются.

2) Скорость течения времени (часто́ты излучения атомов) обратно пропорциональна величине постоянной Планка в третьей степени (4.28). Поэтому можно будет сделать однозначный вывод о том, что величина постоянной Планка вблизи большой массы *уменьшается.* То есть гравитационное воздействие *уменьшает* неопределённость в движении частиц. Это будет подтверждением квантового механизма гравитации, изложенного в § 7.3,7.5 и экспериментальным доказательством того, что при удалении от больших масс неопределённость в движении частиц

будет *возрастать*. А это, в свою очередь, будет означать, что наша Вселенная окружена Хаосом. И таким образом будет раскрыта загадка происхождения неопределённости в микромире.

3) Ускорение времени вблизи большой массы будет также означать, что вблизи большой массы возрастает скорость протекания физических процессов, в том числе возрастает скорость распространения электромагнитных колебаний – скорость света. Это будет экспериментальным подтверждением Нового закона (2.1), а, значит, и разгадкой Великой тайны, о которой писал Фейнман (см. § 1.2).

4) Этот эксперимент докажет, что потенциальная энергия тела массы m, поднятого на высоту H над земной поверхностью, не равна mgH, а равна, как это ни парадоксально звучит, $2mgH$.

5) С точки зрения общей теории относительности время вблизи большой массы замедляется, и общая теория относительности предсказывает существование чёрных дыр – огромных масс, вблизи которых время полностью останавливается. Поэтому ускорение времени вблизи большой массы будет прямым доказательством того, что чёрные дыры не существуют.

6) Экспериментальное подтверждение квантовой теории гравитации позволит также разрешить ряд космологических проблем, в том числе связанных с эволюцией Вселенной. Этому будут посвящены 9-я и 10-я главы.

Таким образом, простой эксперимент позволит разрешить большое число проблем фундаментальной физики, физики микро- и макромира. Он позволит раскрыть механизм гравитации, объяснить происхождение неопределённости в микромире, узнать, *что* находится за пределами Вселенной. Этот эксперимент сможет радикально изменить все наши представления об устройстве Мироздания.

И в связи с этим возникает вопрос: почему его до сих пор не проводили?!