

Глава 5

ОШИБКИ ЭЙНШТЕЙНА ПРИ ПОСТРОЕНИИ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

5.1 Первая ошибка Эйнштейна: принцип эквивалентности и замедление времени

Предположим, что у нас есть две физические лаборатории: одна находится в постоянном однородном гравитационном поле \vec{g} , а другая – движется в пустом пространстве с постоянным ускорением $-\vec{g}$ (смотри рисунок 5.1). Может ли экспериментатор, находясь в одной из лабораторий, определить, в *какой именно* лаборатории он находится?

Суть принципа эквивалентности, который лежит в основе общей теории относительности, в отрицательном ответе на этот вопрос. То есть

мы не сможем, находясь в одной из двух лабораторий, отличить гравитационные силы от сил инерции.

Какие есть основания для того, чтобы это утверждать?

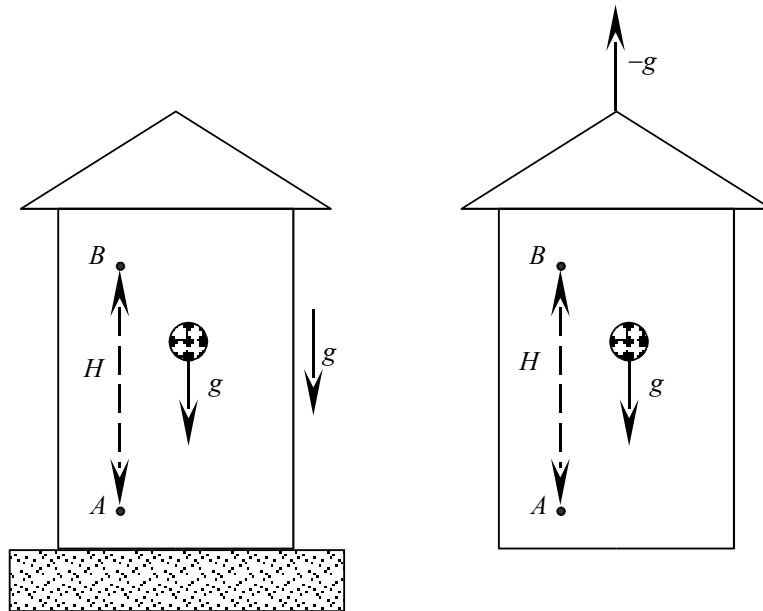


Рисунок 5.1. Первая лаборатория (слева) неподвижна и находится в постоянном и однородном гравитационном поле g . Вторая лаборатория (справа) движется с постоянным ускорением $-g$ в пустом пространстве. Принцип эквивалентности утверждает, что ВСЕ физические процессы будут протекать в обеих лабораториях одинаково.

Единственное основание – это равенство инертной и гравитационной масс, то есть тот факт, что все тела падают в гравитационном поле с одинаковым ускорением. Затем, уже на основе этого факта, делается логический переход к принципу эквивалентности. И доказательство справедливости принципа эквивалентности в общих чертах следующее:

В постоянном и однородном гравитационном поле \vec{g} все тела движутся с ускорением \vec{g} . В системе отсчёта, которая движется с постоянным ускорением $-\vec{g}$, все тела также движутся с ускорением \vec{g} .

Таким образом, траектории движения тел при заданных начальных условиях будут одинаковы и в гравитационном поле, и в ускоренной системе отсчёта. То есть будут одинаковы законы движения.

Это, на первый взгляд безупречное рассуждение (которое можно найти практически в любой книге по общей теории относительности), содержит в себе серьёзную ошибку, которую не заметил ни Эйнштейн, ни кто-либо другой. И для того чтобы увидеть эту ошибку, достаточно задать следующий, очень простой вопрос.

По какому времени измеряется ускорение свободного падения \vec{g} , по *местному* или *мировому*?

Очевидно, что ускорение свободного падения измеряется по местному времени (так как прежде чем измерять его по мировому времени, необходимо ввести мировое время, то есть синхронизовать между собой часы во всей лаборатории). И здесь, естественно, возникает ещё один вопрос.

Какая существует связь между местным и мировым временем в постоянном и однородном гравитационном поле: такая же, как и в равномерно ускоренной системе отсчёта или нет?

И становится ясно, что априори ответить на этот вопрос невозможно. То есть мы не можем заранее сказать, замедляется или ускоряется местное время (скорость хода стандартных атомных часов) в гравитационном поле. Потому что скорость местного времени *не связана* с равенством инертной и гравитационной масс.

Например, во-первых, можно предположить, что скорость хода стандартных атомных часов не изменяется в гравитационном поле (смотри рисунок 5.2). Во-вторых, можно предположить, что эта скорость уменьшается. Наконец, в-третьих, можно предположить, что скорость хода стандартных атомных часов возрастает в гравитационном поле. И в каждом из трёх, логически возможных случаев все тела могут падать с одинаковым ускорением, измеренным по местному времени.

Итак, если исходить из экспериментально проверенного равенства инертной и гравитационной масс, то можно сделать вывод, что все тела будут падать в гравитационном поле с одинаковым ускорением, измеренным по местному времени. Но невозможно сделать какой-либо вывод о связи между местным и мировым временем. И, следовательно, совершенно неизвестно, как будет изменяться ускорение тел, измеренное по мировому времени. Поэтому траектории движения тел в гравитационном поле могут отличаться от траекторий движения

тел в равноускоренной системе отсчёта. При одинаковой скорости движения, измеренной по местному времени, скорость тел, измеренная по мировому времени, может быть разной.

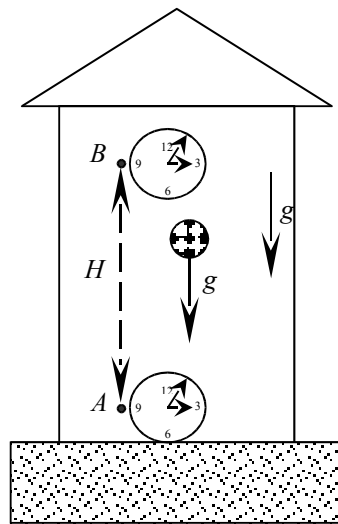


Рисунок 5.2. Мы знаем, что в однородном гравитационном поле все тела падают с постоянным ускорением g . Например, наблюдатель, находящийся в точке A со стандартными часами, обнаружит, что все тела движутся мимо него с ускорением g . И наблюдатель, находящийся в точке B со стандартными часами, также обнаружит, что все тела движутся мимо него с ускорением g .

Но мы не знаем, *как* изменяется скорость хода стандартных часов в гравитационном поле. Мы не знаем, *где* часы идут быстрее: в точке A или в точке B ? Невозможно ответить на этот вопрос, если основываться *только* на равенстве инертной и гравитационной масс.

Таким образом, первая ошибка Эйнштейна, сделанная им при построении общей теории относительности, состоит в том, что, исходя из равенства инертной и гравитационной масс, он постулировал принцип эквивалентности. Но принцип эквивалентности не следует из равенства инертной и гравитационной масс. Вот если бы было экспериментально установлено, что местное время изменяется в однородном гравитационном поле *точно также*, как и в

равноускоренной системе отсчёта, вот тогда можно было бы говорить об истинности принципа эквивалентности, и то с некоторыми оговорками. Например, скорость радиоактивного распада может изменяться в гравитационном поле *не так*, как изменяется скорость хода атомных часов, то есть гравитация может по-разному влиять на электромагнитные и ядерные процессы.

А есть ли какие-либо основания считать, что скорость хода атомных часов замедляется в гравитационном поле в соответствии с принципом эквивалентности? И забегая немного вперёд, я утверждаю, что таких оснований нет. Причём, нет ни теоретических, ни экспериментальных оснований. Возможно, здесь читатель не согласится со мной, но далее мы разберём различные доводы и различные эксперименты, исходя из которых, в рамках общей теории относительности, делается вывод о замедлении времени вблизи большой массы, и покажем их недостаточность.

Итак, для того чтобы экспериментально доказать ошибочность принципа эквивалентности, необходимо провести эксперимент по измерению скорости хода двух одинаковых атомных часов, расположенных на разных высотах (смотри рисунок 5.2). С точки зрения принципа эквивалентности часы, расположенные внизу, должны будут отставать на относительную величину:

$$\frac{\Delta t}{t} = \frac{gH}{c^2} \quad (5.1)$$

Здесь H – разность высот между точками B и A .

Однако простой анализ поведения атома в гравитационном поле (смотри параграф 3.6) показывает, что атомные часы, находящиеся внизу, должны идти быстрее (вопреки принципу эквивалентности, а значит, и вопреки общей теории относительности) на относительную величину:

$$\frac{\Delta t}{t} = 2 \frac{gH}{c^2} \quad (5.2)$$

5.2 Вторая ошибка Эйнштейна: связь между красным смещением и замедлением времени

Основываясь на принципе эквивалентности, Эйнштейн пришёл к выводу, что время в гравитационном поле замедляется. В частности, на

Солнце время течёт медленнее, чем на Земле на относительную величину около двух миллионов. Исходя из этого, Эйнштейн сделал вывод, что наблюдатель, находящийся на Земле, обнаружит красное смещение в солнечном спектре. Причём, красное смещение спектральных линий будет в точности равно замедлению времени (смотри параграф 1.4). И таким образом, Эйнштейн совершил вторую ошибку. Давайте внимательно эту ошибку разберём.

Допустим, мы не знаем, *какая* скорость времени на Солнце. Но предположим, что время течёт на Солнце медленнее, чем на Земле на относительную величину две миллионов (то есть так, как предполагал Эйнштейн). Что это означает? Это означает, что *любой* физический процесс будет протекать на Солнце медленнее, чем точно такой же процесс на Земле. Например, частота фотона, испускаемого атомом на Солнце, будет ниже, чем частота фотона, испускаемого точно таким же атомом на Земле.

Но разве Эйнштейн сделал не этот вывод? Нет, Эйнштейн сделал несколько иной вывод. Эйнштейн сделал вывод, что наблюдатель, находящийся на Земле, обнаружит эффект красного смещения около двух миллионов в спектре излучения Солнца. А вот такой вывод уже совершенно не обоснован. Ведь пока фотоны будут лететь от Солнца к Земле, их частота понизится. Потому что их энергия уменьшится. Фотоны затратят часть своей энергии на преодоление гравитационного притяжения. Поэтому наблюдатель на Земле должен был бы обнаружить эффект красного смещения больше, чем две миллионов.

Когда было экспериментально установлено, что существует эффект гравитационного смещения спектральных линий, и его величина в точности равна величине, предсказанной Эйнштейном, то был сделан вывод, что Эйнштейн прав. И был также сделан вывод, что время вблизи большой массы замедляется. Но это ошибка! Просто так получилось, что два ошибочных предположения Эйнштейна привели к верному результату.

Повторим эти ошибки ещё раз. Первая ошибка (она вытекает из принципа эквивалентности) – предположение о том, что время на Солнце течёт медленнее, чем на Земле. Вторая ошибка – предположение о том, что частота фотона, пока он летит от Солнца к Земле, остаётся постоянной. И в сумме эти две ошибки приводят к правильному результату – красному смещению спектральных линий.

В действительности же время на Солнце течёт не медленнее, а быстрее, чем на Земле. Поэтому частота фотонов, испускаемых атомами на Солнце, выше, чем частота фотонов, испускаемых точно такими же атомами на Земле. Этот вывод следует из простого анализа изменений свойств атома в гравитационном поле (смотри параграф 3.6). Но пока

фотоны летят от Солнца к Земле, они теряют энергию на преодоление гравитационного притяжения, и в результате “краснеют”. Количественные расчёты мы сделаем в следующей главе, в параграфе 6.10.

Как уже говорилось, для того чтобы убедиться в том, что Эйнштейн действительно ошибся, достаточно провести простой эксперимент, предложенный в предыдущем параграфе (его описание смотри в параграфе 6.7).

5.3 Третья ошибка Эйнштейна: уменьшение скорости света в гравитационном поле

Как уже отмечалось, Эйнштейн, на основе принципа эквивалентности, сделал вывод о замедлении времени вблизи большой массы. И поэтому он сделал вывод, что скорость света вблизи большой массы уменьшается. И уже исходя из этого, Эйнштейн сделал вывод, что свет будет огибать большую массу, то есть “притягиваться” к ней (смотри рисунок 5.3). И в результате совершил третью ошибку.

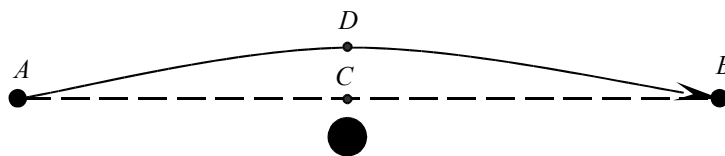


Рисунок 5.3

Суть этой ошибки не в том, что свет будет огибать большую массу (это действительно так), а в другом. Нельзя связывать между собой скорость света и его поведение в гравитационном поле. То, что свет огибает большую массу, двигаясь по кривой ADB , совсем не означает, что его скорость в окрестности точки C меньше, чем в окрестности точки D .

Таким образом, ошибка Эйнштейна состоит в том, что он связал между собой *притяжение* света большой массой и *уменьшение* скорости света вблизи большой массы.

Давайте внимательно разберём доводы Эйнштейна, они очень ясно изложены в его книге “Эволюция физики” [24, с.427]:

Пусть по большому открытому пространству прогуливаются два человека, держащие между собой твёрдый прут. Вначале они идут прямо вперёд, оба с одинаковой скоростью. Пока их скорости одинаковы, велики они или малы – безразлично, прут будет совершать параллельное перемещение, то есть он не будет поворачиваться или изменять своё направление. Все последовательные положения прута параллельны друг другу. Но представим себе теперь, что в течение очень короткого времени, может быть, равного долям секунды, движения обоих людей стали неодинаковыми. Что произойдёт? Ясно, что в течение этого времени прут будет поворачиваться, так что он не будет больше перемещаться параллельно своему первоначальному положению. Когда опять возобновится движение с равными скоростями, оно будет иметь направление, отличное от первоначального (смотри рисунок 5.4). Изменение направления происходит в течение того промежутка времени, в котором скорость обоих пешеходов была различной.

Этот пример позволит нам понять преломление волны. Плоскость волны, движущейся в эфире, достигает поверхности стекла. На рисунке 5.5 мы видим волну со сравнительно широким фронтом, который перемещается вперёд. Фронт волны – это плоскость, в которой в любой момент времени все части эфира находятся в одинаковом состоянии. Так как скорость зависит от среды, через которую в данный момент времени проходит свет, то скорость в стекле будет отличаться от скорости в пустом пространстве. В течение очень короткого времени, за которое фронт волны входит в стекло, различные части фронта волны будут иметь различные скорости. Ясно, что те части, которые уже достигли стекла, будут двигаться со скоростью света в стекле, в то время как другие части по-прежнему движутся со скоростью света в эфире. Благодаря этой разности в скоростях вдоль фронта волны, существующей в течение времени “погружения” в стекло, направление самой волны будет изменяться.

В приведённом рассуждении Эйнштейн очень наглядно объясняет такое оптическое явление, как преломление света при переходе из одной среды в другую. Фронт световой волны всегда заворачивает в ту сторону, где его скорость меньше. Здесь всё правильно.

Аналогичные доводы Эйнштейн использует в своей работе “О влиянии силы тяжести на распространение света” в разделе “Искривление лучей света в гравитационном поле” [4]. Он утверждает, что вблизи большой массы скорость света уменьшается и, следовательно, фронт световой волны будет заворачивать в сторону большой массы, туда, где скорость света меньше. И до сих пор подобные доводы используют для того, чтобы доказать, что скорость света вблизи большой массы уменьшается, а время, соответственно, замедляется.

Например, экспериментально установлено, что свет, проходя вблизи Солнца, отклоняется в сторону Солнца. И это считается достаточным основанием, чтобы утверждать, что скорость световой волны вблизи Солнца уменьшается.

Но это, разумеется, не так.

Чтобы показать ошибочность подобных выводов, достаточно рассмотреть движение электрона (или любой другой частицы) в гравитационном поле Земли (смотри рисунок 5.6).

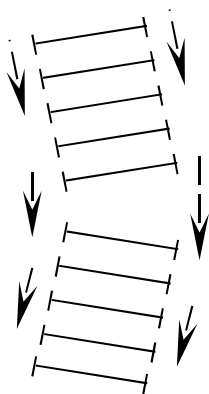


Рисунок 5.4

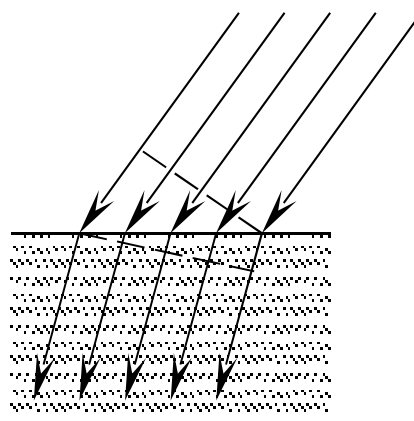


Рисунок 5.5

С точки зрения квантовой механики движущийся электрон представляет собой движущуюся волну, движение которой полностью описывается волновой функцией Шрёдингера. Эта волна, или волновой пакет, притягивается к Земле и в результате движется по параболе (как и любое другое тело). И если теперь к электронной волне применить доводы, которые Эйнштейн применил к световой волне, то можно сделать вывод, что скорость электронной волны и, следовательно, скорость электрона вблизи Земли уменьшается.

Однако ясно, что это не так!

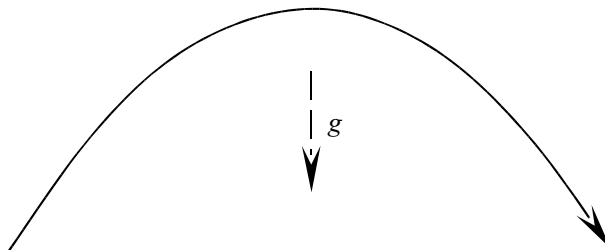


Рисунок 5.6

Скорость электрона и, соответственно, скорость волны, связанной с электроном, вблизи Земли *увеличиваются*.

Получается, что фронт световой волны заворачивает в ту сторону, где его скорость меньше, а фронт электронной волны заворачивает в ту сторону, где его скорость больше. Не правда ли, странно?

Ошибочность рассуждений Эйнштейна состоит в следующем. Фронт любой волны всегда заворачивает в ту сторону, где его скорость меньше, при соблюдении одного очень важного условия. *Если частота волны остаётся постоянной*. Но если частота волны изменяется, то волна может завернуть и в другую сторону.

Например, при переходе световой волны из одной среды в другую её частота остаётся постоянной, и именно поэтому световая волна поворачивает в ту сторону, где её скорость меньше. Но при движении световой волны в гравитационном поле её энергия и, следовательно, её частота изменяется, и поэтому подобные рассуждения к её поведению неприменимы.

В самом общем случае любая волна заворачивает не в ту сторону, где её скорость меньше, а в ту сторону, где меньше длина волны (эта тема будет обсуждаться в следующей главе). Длина волны – это скорость волны, делённая на частоту волны. Поэтому если частота волны возрастает в процентном отношении быстрее, чем скорость, то волна завернёт в ту сторону, где её скорость *больше*.

Например, глядя на движение электронной волны на рисунке 5.6, мы можем сделать следующий вывод. Так как электронная волна при движении заворачивает к земле, то есть в ту сторону, где её скорость выше, то, следовательно, частота электронной волны возрастает вблизи земли в процентном отношении ещё быстрее, чем скорость. И это не удивительно. Потому что частота волны, связанной с движущимся электроном, пропорциональна его энергии, а энергия электрона возрастает в процентном отношении быстрее, чем его скорость.

В основе общей теории относительности лежит принцип эквивалентности. С точки зрения этого принципа гравитация влияет одинаково на все физические процессы, и, следовательно, частота световой волны при движении в гравитационном поле должна изменяться *точно так же*, как и частота электронной волны. Потому что в противном случае, находясь в свободно падающем лифте, мы обнаружили бы, что отношение частоты электронной волны к частоте световой волны изменяется, и таким образом узнали, что находимся не в инерциальной системе отсчёта, а падаем в гравитационном поле.

То есть даже из принципа эквивалентности можно сделать вывод, что частота световой волны должна изменяться в гравитационном поле

точно так же, как и частота электронной волны и, следовательно, должна возрастать вблизи большой массы.

5.4 Четвёртая ошибка: неправильная интерпретация интервала

Как уже отмечалось в первой главе, уравнения Эйнштейна (1.14) в случае гравитационного поля, создаваемого массой M , имеют следующее решение (1.15):

$$ds^2 = \left(1 - \frac{2GM}{rc^2}\right) c^2 dt^2 - \frac{dr^2}{\left(1 - \frac{2GM}{rc^2}\right)} - r^2 (\sin^2\theta d\phi^2 + d\theta^2) \quad (1.15)$$

Если гравитационное поле является слабым ($GM \ll rc^2$), то уравнение (1.15) можно преобразовать к уравнению (1.20):

$$ds^2 = \left(1 - \frac{2GM}{rc^2}\right) c^2 dt^2 - \left(1 + \frac{2GM}{rc^2}\right) (dx^2 + dy^2 + dz^2) \quad (1.20)$$

Гравитационное поле Солнца является слабым (масса Солнца: $M_S = 2 \cdot 10^{30}$ кг, и $GM_S/rc^2 \leq 10^{-6}$), и поэтому для всех расчётов в Солнечной системе можно пользоваться приближённым уравнением (1.20). И только это приближённое уравнение проверено экспериментально. Так как для проверки уравнения (1.15) требуется гравитационное поле в миллион раз сильнее, чем поле Солнца, то есть поле, в котором $GM/rc^2 \approx 1$. И тем более, нет никакой возможности непосредственно проверить основные уравнения (1.14) теории тяготения Эйнштейна, так как для такой проверки необходимы очень сильные, да к тому же ещё и переменные гравитационные поля. Поэтому существует более сотни различных альтернативных теорий тяготения, незначительно отличающихся от общей теории относительности (эти теории обсуждаются, например в [39]).

В настоящее время приближённое уравнение (1.20) проверено только с квадратичной точностью, то есть с точностью до членов порядка $(GM/rc^2)^2$. И это означает, что все эксперименты, проводимые в Солнечной системе и подтверждающие общую теорию относительности, также подтверждают и любую другую теорию гравитации, в которой уравнение для квадрата интервала отличается от уравнения (1.20) на величину порядка $(GM/rc^2)^2$.

Например, мы можем написать уравнение для квадрата интервала в виде:

$$ds^2 = \left(1 - \frac{2GM}{rc^2}\right) c^2 dt^2 - \frac{1}{\left(1 - \frac{2GM}{rc^2}\right)} d\ell^2 \quad (5.3)$$

Или в виде:

$$ds^2 = \frac{c^2 dt^2}{1 + \frac{2GM}{rc^2}} - \left(1 + \frac{2GM}{rc^2}\right) d\ell^2 \quad (5.4)$$

Потому что эти уравнения отличаются от уравнения (1.20) на величину порядка $(GM/rc^2)^2$, и существующие эксперименты пока не позволяют сделать выбор между уравнениями (1.20), (5.3) или (5.4).

Давайте представим уравнение для квадрата интервала в следующем виде:

$$ds^2 = \frac{c^2 dt^2}{k^2} - k^2 d\ell^2 \quad (5.5)$$

Здесь k – некоторая функция, которая зависит только от расстояния r до массы M . При этом на большом удалении от массы M величина k стремится к единице, а вблизи массы M возрастает: $k > 1$.

В общей теории относительности величина k равняется (смотри уравнение (1.17)):

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}}} \quad (1.17)$$

В какой-то другой теории гравитации величина k может незначительно отличаться от этого значения. Для нас сейчас важно не это. А важно то, как следует интерпретировать уравнение (5.5) для квадрата интервала. Потому что в общей теории относительности это уравнение интерпретируется неправильно. И, кроме того, во всех теориях гравитации, незначительно отличающихся от общей теории относительности, это уравнение интерпретируется точно так же, как и в общей теории относительности, то есть неправильно. При интерпретации уравнения (5.5) допускается серьёзная ошибка, на которую, к сожалению, не обращают внимания. И сейчас мы эту ошибку внимательно разберём.

Сначала рассмотрим квадратный корень из второго слагаемого в правой части уравнения (5.5): $k d\ell$. Элемент длины $d\ell$ умножается на величину $k > 1$. В общей теории относительности это интерпретируется как увеличение расстояний вблизи массы M или, что то же самое, как

уменьшение эталонов длины вблизи массы M (смотри рисунок 1.6). Это правильная интерпретация.

Теперь рассмотрим квадратный корень из первого слагаемого в правой части уравнения (5.5): $\frac{c dt}{k}$. Интервал времени dt делится на величину $k > 1$. В общей теории относительности (и во всех других теориях гравитации) это интерпретируется так. Если на большом удалении от массы M пройдет интервал времени dt , то вблизи массы M пройдет только интервал времени $\frac{dt}{k}$, то есть время вблизи большой массы замедляется.

Эта интерпретация неправильная, и она содержит две серьезные ошибки.

Первая ошибка. В квадратном корне из первого слагаемого $\frac{c dt}{k}$ на величину k делится не интервал времени dt , а произведение скорости света c на интервал времени dt , то есть величина cdt . Поэтому мы ничего не можем сказать о скорости времени вблизи большой массы, исходя из уравнения (5.5). Единственное, что мы можем сказать, это то, что величина cdt делится на k . Величина cdt – это величина, пропорциональная эталону длины, то есть эталон длины уменьшается вблизи большой массы в k раз. (Напомним, что в настоящее время метр определяется как расстояние, проходимое в вакууме плоской электромагнитной волной за $1/299\,792\,458$ долю секунды [41, т.3; с.124]). Таким образом, первое слагаемое в уравнении (5.5) содержит ровно столько же информации, как и второе слагаемое:

Эталон длины уменьшается вблизи большой массы в k раз, а все расстояния между точками, соответственно, увеличиваются в k раз.

Чтобы стало совершенно ясно то, что первое слагаемое $\frac{c^2 dt^2}{k^2}$ не содержит никакой информации о скорости времени, давайте сделаем простой расчёт. Предположим, в некоторой области пространства длина метра уменьшается в k раз, а продолжительность секунды увеличивается в 100 раз (то есть скорость времени замедляется в 100 раз). Чему будет равно первое слагаемое в этой области? В этой области скорость света будет меньше обычного в $100 \times k$ раз и поэтому величина $c^2 dt^2$ будет равна:

$$c^2 dt^2 = \frac{c_0^2}{(100k)^2} \cdot 100^2 dt_0^2 = \frac{c_0^2 dt_0^2}{k^2}$$

Здесь $c_0 = 300\,000$ км/сек – скорость света на большом удалении от данной области, dt_0 – скорость времени на большом удалении от данной области.

Таким образом, величина квадрата интервала в уравнении (5.5) совершенно не зависит от скорости времени. И поэтому из уравнения (5.5) нельзя сделать какой-либо вывод о скорости времени вблизи большой массы.

Вторая ошибка. Допустим, нам удалось получить уравнение для времени, в которое не входит скорость света, например:

$$dt = \frac{dt_0}{k} \quad (5.6)$$

Здесь dt – интервал времени вблизи массы M , который соответствует интервалу времени dt_0 , прошедшему на большом удалении от массы M .

Можно ли на основании этого уравнения утверждать, что скорость времени вблизи массы M уменьшается в k раз?

Нет, так утверждать нельзя. Потому что смысл уравнения (5.6) неоднозначен. Предположим, вблизи массы M величина k равна двум: $k = 2$, и, следовательно, интервал времени вблизи массы M делится на два. Что это означает? Такое сокращение интервала времени можно интерпретировать по-разному.

Первая интерпретация. Уравнение (5.6) при $k = 2$ означает следующее. Если на большом удалении от массы M пройдет 1 секунда, то вблизи массы M (где $k = 2$) пройдет только полсекунды. Следовательно, скорость времени (скорость хода стандартных атомных часов) замедляется вблизи массы M в два раза.

Вторая интерпретация. Любой интервал времени всегда определяется как длительность некоторого физического процесса. Например, 1 секунда в современной физике определяется следующим образом. Атомная секунда равна 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего энергетическому переходу между двумя уровнями сверхтонкой структуры основного состояния атома цезия $^{133}_{55}\text{Cs}$ [41, т.4;с.484]. Поэтому уравнение (5.6) при $k = 2$ означает следующее. Если на большом удалении от массы M длительность некоторого физического процесса составляет 1 секунду, то вблизи массы M (где $k = 2$) длительность этого же процесса составит полсекунды. Следовательно, скорость времени (скорость хода стандартных атомных часов) вблизи массы M возрастает в два раза.

Таким образом, уравнение (5.6), которое представляется, на первый взгляд, очень простым, можно интерпретировать по-разному: и как замедление времени вблизи большой массы и, наоборот, как ускорение времени вблизи большой массы.

5.5 Пятая ошибка: неправильное вычисление скорости света

Для того чтобы доказать, что скорость света вблизи большой массы замедляется а, следовательно, замедляется и время, в общей теории относительности используются также следующие доводы:

Рассмотрим уравнение для квадрата интервала (1.20), справедливое в случае слабого гравитационного поля. Вдоль светового луча интервал ds равен нулю: $ds = 0$. С другой стороны, в общей теории относительности предполагается, что интервал ds является инвариантом, то есть его величина будет всегда одной и той же для любых наблюдателей. Поэтому и с точки зрения наблюдателя, находящегося вдали от массы M , интервал вдоль светового луча, проходящего вблизи массы M , также будет равен нулю:

$$\begin{aligned}
 ds^2 &= \left(1 - \frac{2GM}{rc^2}\right) c^2 dt^2 - \left(1 + \frac{2GM}{rc^2}\right) d\ell^2 = 0 \Rightarrow \\
 \Rightarrow \frac{1 - \frac{2GM}{rc^2}}{1 + \frac{2GM}{rc^2}} c^2 &= \frac{d\ell^2}{dt^2} \Rightarrow \left(1 - \frac{4GM}{rc^2}\right) c^2 = \frac{d\ell^2}{dt^2} \\
 \Rightarrow \frac{d\ell}{dt} &= c \left(1 - \frac{2GM}{rc^2}\right) \quad (5.7)
 \end{aligned}$$

Здесь $d\ell$ – расстояние, пройденное светом, с точки зрения удалённого наблюдателя, dt – время, за которое свет прошёл расстояние $d\ell$, по часам удалённого от массы M наблюдателя.

Таким образом, с точки зрения удалённого наблюдателя скорость света: $\frac{d\ell}{dt}$ (эта скорость иногда называется координатной скоростью) – уменьшается вблизи большой массы. А зная, как изменяется скорость света и как изменяется длина метра, нетрудно рассчитать, как изменится продолжительность секунды. Если скорость света уменьшится в

$$k_c = 1 + \frac{2GM}{rc^2} \text{ раз (5.7) и длина метра уменьшится в } k_L = 1 + \frac{GM}{rc^2} \text{ раз}$$

$$(1.17), \text{ то длительность секунды, соответственно, увеличится в } k_T = \frac{k_c}{k_L}$$

$$= 1 + \frac{GM}{rc^2} \text{ раз. Таким образом, время замедляется вблизи большой массы.}$$

Основой приведённого выше рассуждения является предположение, что интервал остаётся инвариантным в гравитационном поле. На чём основано такое предположение? Оно основано, во-первых, на предположении, что геометрия пространства-времени в гравитационном поле – это геометрия Римана. И, во-вторых, на предположении, что инвариантом в такой геометрии является именно интервал.

Но все эти предположения имеют смысл только при условии справедливости принципа эквивалентности, то есть только в том случае, если гравитационное поле можно “исключить” простым преобразованием координат. Как уже отмечалось, нет никаких оснований (ни теоретических, ни экспериментальных) для того, чтобы утверждать справедливость принципа эквивалентности, так как равенство инертной и гравитационной масс не является для этого достаточным основанием.

Более того, основываясь на уравнениях квантовой механики, можно показать, что принцип эквивалентности не верен. Потому что если уменьшается длина метра и, следовательно, размер атома, то энергия фотона, излучаемого атомом, должна возрасти (смотри параграф 3.6), а не уменьшиться, вопреки принципу эквивалентности.

Таким образом, ошибка, совершаемая в общей теории относительности при расчёте скорости света в гравитационном поле, состоит в предположении об инвариантности интервала. Это предположение ошибочно, потому что интервал в гравитационном поле *изменяется*.

Более того, физический смысл уравнения (1.20) как раз и состоит в *изменении* величины интервала вблизи большой массы. Пусть световой луч проходит вблизи большой массы (смотри рисунок 5.7). С точки зрения наблюдателя, находящегося вблизи большой массы рядом со световым лучом, интервал ds вдоль этого луча будет равен нулю:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - d\ell^2 = 0 \quad (5.8)$$

Все величины, входящие в это уравнение, измеряются наблюдателем при помощи стандартных часов (скорость которых изменяется вблизи большой массы) и стандартных линеек (длины которых уменьшаются вблизи большой массы).

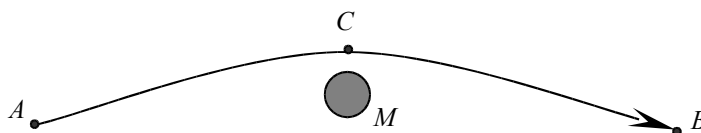


Рисунок 5.7. Световой луч движется из точки A в точку B , искривляясь вблизи большой массы M . С точки зрения наблюдателя, находящегося в точке A , интервал вдоль светового луча вблизи точки A равен нулю. И с точки зрения наблюдателя, находящегося в точке C , интервал вдоль светового луча вблизи точки C равен нулю. Но скорость светового луча в точке C отличается от его скорости в точке A . Поэтому интервал вдоль светового луча вблизи точки C , равный нулю для наблюдателя в точке C , уже не будет равен нулю для наблюдателя в точке A .

Рассмотрим теперь, чему будет равен этот интервал ds вдоль светового луча с точки зрения наблюдателя, удалённого от большой массы. Из уравнения (1.20) следует, что с точки зрения этого наблюдателя величина $c^2 dt^2$ уменьшится, а величина $d\ell^2$ возрастёт. И поэтому ясно, что величина интервала *изменится*.

5.6 Об измерении скорости света в гравитационном поле

По поводу написанного в предыдущем параграфе сторонники общей теории относительности могут сказать примерно следующее:

Уменьшение скорости света в гравитационном поле – это не просто теоретическое следствие, вытекающее из самого фундамента общей теории относительности. В настоящее время замедление скорости света в гравитационном поле – это экспериментально установленный факт. Начиная со второй половины 20-го века, неоднократно проводились эксперименты по измерению временной задержки радиолокационного сигнала, проходящего вблизи Солнца. Общая теория относительности предсказывает, что свет (электромагнитный сигнал), проходя вблизи Солнца, должен задерживаться

примерно на 240 микросекунд, и эксперименты подтверждают это предсказание с точностью около 0,1%. Об этом написано, например, в 5-м томе Физической энциклопедии в статье “Тяготение” [41]. Смотри также [63,64].

Да, действительно, общая теория относительности предсказывает, что свет, проходя вблизи Солнца, должен задерживаться, и проведённые эксперименты подтверждают это. Но всё дело в том, что эксперименты по измерению скорости света в гравитационном поле – это не прямые эксперименты, а косвенные. На рисунках 5.8 и 5.9 показано, в чём состоит принципиальное отличие прямого эксперимента по измерению задержки (или, может быть, ускорения) радиосигнала, проходящего вблизи Солнца, от косвенного.

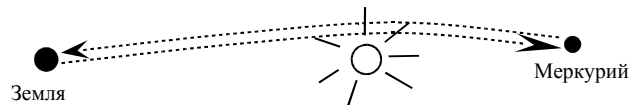


Рисунок 5.8. Косвенный эксперимент по измерению времени прохождения радиосигнала вблизи Солнца.

Когда Земля, Солнце и Меркурий находятся приблизительно на одной линии, с Земли на Меркурий посылается радиосигнал. Радиосигнал проходит вблизи Солнца, отражается от Меркурия и возвращается обратно на Землю. В эксперименте измеряется полное время t движения радиосигнала “туда” и “обратно”. Теперь нужно ответить на вопрос: а если “убрать” Солнце, время t увеличится или уменьшится? Но всё дело в том, что “убрать” Солнце невозможно. Поэтому время t сравнивается не с “реальным” временем движения радиосигнала в пустом пространстве, а с расчётным временем t_r . Причём, время t_r рассчитывается по формулам общей теории относительности, и при этом используется ряд дополнительных предположений. Например, предположение о том, что частота радиосигнала НЕ ИЗМЕНЯЕТСЯ при движении в гравитационном поле.

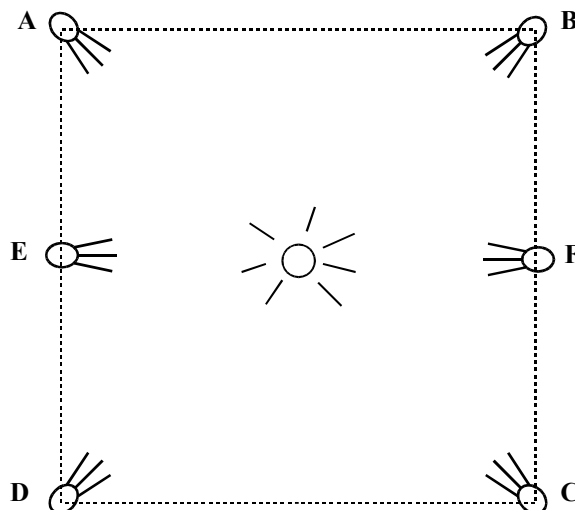


Рисунок 5.8. Прямой эксперимент по измерению времени прохождения радиосигнала вблизи Солнца.

Искусственные спутники **A, B, C, D, E, F** находятся на большом удалении от Солнца (где можно пренебречь искривлением пространства-времени) и за счёт работы своих двигателей остаются всё время неподвижными относительно Солнца и относительно звёзд. При этом спутники **A, B, C, D** образуют квадрат с центром в центре Солнца, спутник **E** находится на середине прямой, соединяющей спутники **A** и **D**, а спутник **F** находится на середине прямой, соединяющей спутники **B** и **C**. Часы на всех спутниках синхронизованы и показывают мировое время. В момент времени t_0 со спутников **A, E** и **D** отправляется радиосигнал соответственно на спутники **B, F, C**. В момент времени t сигнал достигает спутников **B** и **C**. А в момент времени t_F – спутника **F**. Если $t_F < t$, то, следовательно, радиосигнал, проходя вблизи Солнца, задерживается. А если $t_F > t$, то, следовательно, радиосигнал, проходя вблизи Солнца, наоборот, ускоряется.

Итак, необходимо подчеркнуть ещё раз, что все эксперименты по измерению “задержки” радиосигнала – это не прямые, а косвенные эксперименты, в которых все неизвестные параметры определяются по формулам общей теории относительности. Полный теоретический анализ таких экспериментов достаточно сложен (смотри, например, [38, §8.7]), но для того чтобы показать ошибочность вывода, сделанного в рамках общей теории относительности, достаточно провести качественный анализ.

Ниже будет приведена большая цитата из книги Я. Зельдовича и И. Новикова “Релятивистская астрофизика”, где приводится описание этого эксперимента [50, с.72] (рисунок и подпись к нему также взяты из этой книги). А затем мы рассмотрим, какие выводы можно сделать из этого эксперимента:

Для далёкого наблюдателя скорость луча света по его часам есть $\frac{dx}{dt} = c\sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 r}}$, то есть с его точки зрения луч вблизи массы движется медленнее. На этом основан недавно предложенный новый способ проверки общей теории относительности (Шапиро [63]).

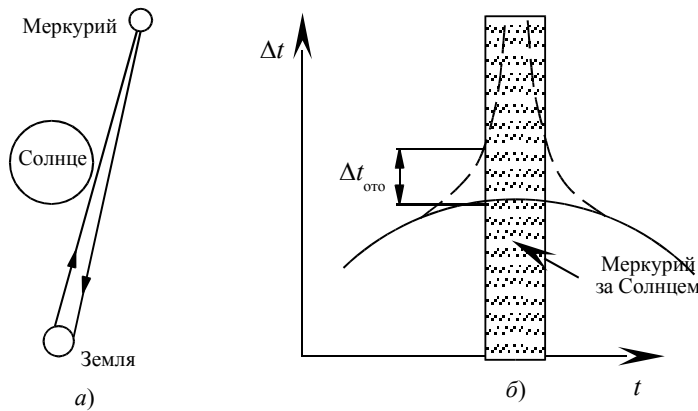


Рисунок 5.10. Радиолокация планеты Меркурий для проверки общей теории относительности. *a* – общая схема; *b* – изменение времени прохождения радиолокационного сигнала. По вертикальной оси отложено время прохождения сигнала туда и обратно, по горизонтальной оси – момент посылки сигнала. Пунктиром показано изменение, соответствующее эффектам общей теории относительности. Заштрихована ненаблюдаемая область прохождения Меркурия за Солнцем.

Предлагается производить радиолокационные наблюдения прохождения Меркурия за Солнцем (рисунок 5.10). В ньютоновской теории изменение времени распространения радиосигналов туда и обратно определяется только изменением расстояния между Землёй и Меркурием и графически изображается сплошной линией на рисунке 5.10. Согласно общей теории относительности уменьшение скорости сигналов вблизи Солнца приведёт к добавочному изменению времени прохождения радиолуча для далёкого наблюдателя; поэтому возникает добавочный подъём на графике рисунка 5.10 (пунктир). Величина добавочного изменения в оптимальном случае порядка $2 \cdot 10^{-4}$ сек и в принципе может быть измерена. Правда, здесь необходимо учитывать ещё изменение скорости радиосигналов в плазме солнечной короны. Для исключения этого эффекта можно проводить измерения на разных частотах.

Итак, мы посылаем сигнал на Меркурий, затем принимаем отражённый сигнал и наблюдаем, как изменяется время прибытия

отражённого сигнала по мере того, как Меркурий заходит за Солнце. Для того чтобы выяснить, увеличивается или уменьшается полное время полёта радиосигнала, нужно сравнивать разность фаз отражённого и исходного сигнала. Если разность фаз увеличивается, значит, и время полёта увеличивается.

Земля и Меркурий движутся вокруг Солнца, и поэтому расстояние между ними меняется. Кроме того, Земля и Меркурий вращаются вокруг своих осей. Всё это приводит к тому, что разность фаз отражённого и исходного сигнала как-то, достаточно плавно, изменяется со временем. Идея эксперимента состоит в том, что когда Меркурий будет заходить за Солнце, эта разность фаз начнёт резко (почти скачком) возрастать. А затем, когда Меркурий выйдет из-за Солнца с другой стороны, разность фаз начнёт резко уменьшаться (пунктирная линия на рисунке 5.10). Используя уравнения общей теории относительности, можно рассчитать эту дополнительную разность фаз, то есть время задержки радиосигнала $\Delta t_{\text{отс}}$ (смотри рисунок 5.10).

Однако здесь есть один, очень важный, момент. Как уже неоднократно отмечалось, с точки зрения общей теории относительности частота электромагнитного сигнала НЕ ИЗМЕНЯЕТСЯ, когда он движется в статическом гравитационном поле. И именно поэтому резкое увеличение разности фаз отражённого и исходного сигнала, когда Меркурий оказывается за Солнцем, означает, в рамках общей теории относительности, задержку радиосигнала.

Но если предположить, что частота электромагнитного сигнала увеличивается вблизи Солнца (так как увеличивается энергия фотонов, из которых состоит этот сигнал), то результат этого эксперимента можно интерпретировать по-другому. Скорость радиосигнала вблизи Солнца не уменьшается, а наоборот, *возрастает*. Но его частота возрастает в процентном отношении гораздо быстрее, чем скорость (смотри параграф 6.6), и именно поэтому происходит резкое возрастание фазы отражённого сигнала (пунктирная линия на рисунке 5.10).

Таким образом, чтобы однозначно интерпретировать эксперимент Шапиро, необходимо провести дополнительный эксперимент. Например, эксперимент по измерению скорости хода стандартных атомных часов в гравитационном поле. Такой эксперимент позволит однозначно ответить на вопрос, изменяется или нет частота фотона, когда он движется в гравитационном поле. И только зная, как изменяется частота фотона (а, значит, и частота электромагнитного сигнала), можно правильно интерпретировать эксперимент Шапиро.

5.7 Замедление времени в гравитационном поле – это миф

Когда я учился в университете, то был уверен в том, что эффект замедления времени вблизи большой массы, предсказываемый общей теорией относительности, – это твёрдо установленный экспериментальный факт. И все студенты, преподаватели и научные сотрудники, с которыми я общался, были уверены в том же самом. Кто-то мог сомневаться в истинности общей теории относительности или в существовании чёрных дыр, кто-то мог думать, что время вблизи большой массы замедляется не совсем так, как предсказывает общая теория относительности, но сам факт замедления времени ни у кого не вызывал сомнения.

И это не удивительно. Потому что во всех учебниках и монографиях по общей теории относительности, во всей научной и научно-популярной литературе, включая различные журналы, говорится о замедлении времени, как о давно установленном экспериментальном факте. Ниже будут приведены две цитаты на эту тему, которые мы затем обсудим.

Вот, к примеру, что пишет об этом С. Хокинг в своей книге “Краткая история времени”, предназначенной для самой широкой аудитории [61,с.53]:

Ещё одно предсказание общей теории относительности состоит в том, что вблизи массивного тела типа Земли время должно течь медленнее. Это следует из того, что должно выполняться определённое соотношение между энергией света и его частотой (т. е. числом световых волн в секунду): чем больше энергия, тем выше частота. Если свет распространяется вверх в гравитационном поле Земли, то он теряет энергию, а потому его частота уменьшается. (Это означает, что увеличивается интервал времени между гребнями двух соседних волн.) Наблюдателю, расположенному на большой высоте, должно казаться, что внизу всё происходит медленнее. Это предсказание проверено в 1962 г. с помощью двух очень точных часов, расположенных: одни на самом вершине водонапорной башни, а вторые – у её подножия. Оказалось, что нижние часы, которые были ближе к Земле, в точном соответствии с общей теорией относительности шли медленнее.

А вот что пишет В. Брагинский в книге “Удивительная гравитация”, изданной в издательстве “Наука”, в серии “Библиотечка Квант” и предназначенной школьникам, преподавателям и студентам [62,с.71]:

Как отмечалось в § 6, самые стабильные часы – это атомные стандарты частоты и лучший среди них – водородный стандарт. Они и были использованы в двух экспериментах, выполненных независимо, примерно в одно и то же время двумя группами экспериментаторов (итальянскими и

американскими). Первые отвезли на грузовике несколько стандартов частоты высоко в горы, а по прошествии нескольких часов привезли обратно и сравнили с другими стандартами частоты, которые оставались в долине. Формула “сработала” верно – с точностью до 5% (погрешность измерения). Опережение по времени “горных” часов совпало с вычисленным по формуле из общей теории относительности.

Итак, нет никакой возможности сомневаться в том, что вблизи большой массы время замедляется. Уверенность в правильности такого утверждения поддерживается всей научной и научно-популярной литературой, где, так или иначе, затрагивается эта тема. Причём, ситуация выглядит даже не так, что общая теория относительности предсказывает замедление времени в гравитационном поле, и это предсказание подтверждено многочисленными экспериментами. Нет. Ситуация выглядит следующим образом. Замедление времени в гравитационном поле – это твёрдо установленный экспериментальный факт, и истинность этого факта даже не зависит от того, верна или не верна общая теория относительности. Но поскольку общая теория относительности является первой теорией гравитации, которая предсказала этот факт, то и доверие к общей теории относительности, как к истинной теории, очень высоко.

Однако, ко всему вышесказанному необходимо добавить следующее. С одной стороны, все уверены в том, что время вблизи большой массы замедляется. Но, с другой стороны, все также уверены в том, что энергия и частота фотона понижаются, когда он вылетает из поля притяжения большой массы. Об этом также написано во всех (за очень редким исключением) научных и научно-популярных книгах по общей теории относительности. И также утверждается, что это твёрдо установленный экспериментальный факт.

Какой вывод напрашивается из всего этого? Вывод очень простой и печальный одновременно. Авторы научных и научно-популярных книг (за редким исключением) по общей теории относительности очень плохо разбираются в сути общей теории относительности. Потому что они не понимают (а они действительно не понимают и, более того, вводят читателей в заблуждение) самых простых вещей. А именно: не могут вместе существовать два описанных выше эффекта – *замедление времени* вблизи большой массы и *понижение частоты фотона*, вылетающего из поля притяжения большой массы. И, соответственно, поставленные эксперименты не могут подтверждать одновременно оба этих эффекта.

Итак, если бы авторы многочисленных книг по общей теории относительности говорили что-то одно, например, что время вблизи большой массы замедляется, и эксперименты это подтверждают, то им, может быть, и можно было бы доверять. Но так как эти же авторы

одновременно говорят и другое, а именно, что частота фотона понижается, когда он удаляется от большой массы, и что эксперименты это также подтверждают, то становится совершенно ясно, что доверять таким авторам нельзя. Так как они сами не понимают ни того, что говорят, ни смысла тех экспериментов, на которые ссылаются.

Давайте в качестве примера разберём по отдельным предложениям приведённую выше цитату из книги С. Хокинга.

Первое предложение этой цитаты (Ещё одно предсказание общей теории относительности состоит в том, что вблизи массивного тела типа Земли время должно течь медленнее) правильное. Действительно, общая теория относительности *предсказывает* замедление времени вблизи массивного тела. Во втором предложении (Это следует из того, что должно выполняться определённое соотношение между энергией света и его частотой: чем больше энергия, тем выше частота) говорится, что энергия фотона пропорциональна его частоте (это одно из основных положений квантовой механики), и из этого будто бы следует замедление времени. Это неверно.

Замедление времени, предсказываемое общей теорией относительности, следует из принципа эквивалентности и не имеет ничего общего с квантовой механикой. Третье предложение в цитате (Если свет распространяется вверх в гравитационном поле Земли, то он теряет энергию, а потому его частота уменьшается) показывает, что Хокинг неправильно понимает общую теорию относительности. Если бы Хокинг сказал такую фразу на экзамене по общей теории относительности, то сразу бы получил “двойку”. Потому что с точки зрения общей теории относительности частота и энергия фотона *не изменяются*, когда фотон движется в статическом гравитационном поле. И уж Хокингу, специалисту по общей теории относительности, это следовало бы знать.

Пояснительное предложение в круглых скобках (Это означает, что увеличивается интервал времени между гребнями двух соседних волн) показывает, что Хокинг не знает основного закона квантовой механики: классические представления о движении *неприменимы* к описанию квантовых объектов, потому что квантовый объект *не имеет* траектории движения (смотри, например [30,с.14]). Частота фотона – это частота, с которой изменяется амплитуда его волновой функции. Эту частоту нельзя представлять в виде реально существующих в пространстве гребней и впадин.

Пятое предложение (Наблюдателю, расположенному на большой высоте, должно казаться, что внизу всё происходит медленнее) поясняет первое, и его следовало бы написать сразу после первого предложения. Шестое и седьмое предложения (Это предсказание проверено в 1962 г. с помощью двух очень точных часов, расположенных: одни на самом верху

водонапорной башни, а вторые – у её подножия. Оказалось, что нижние часы, которые были ближе к Земле, в точном соответствии с общей теорией относительности шли медленнее) – заведомо ложная информация. В 1962 году ещё не существовало высокоточных часов, чтобы обнаружить влияние гравитации на скорость их хода. В 60-х годах 20-го века была проведена серия экспериментов по обнаружению эффекта гравитационного смещения спектральных линий.

Учитывая важность этой темы, давайте повторим, в чём состоит суть обнаруженного экспериментально эффекта гравитационного смещения спектральных линий.

Возбуждённый атом в точке A испускает фотон, который движется вверх к точке B (смотри рисунок 4.1). В точке B частота этого фотона сравнивается с частотой фотона, испускаемого точно таким же атомом, находящимся в точке B . Экспериментально обнаружено, что частота фотона, прилетевшего снизу, ниже на относительную величину $\frac{gH}{c^2}$. Как следует интерпретировать этот эффект?

Сам по себе эффект красного смещения ничего не говорит ни о скорости времени, ни о том, изменяется или нет частота фотона, пока он движется вверх. Поэтому его невозможно интерпретировать, не сделав какого-нибудь дополнительного предположения.

Например, можно предположить, как это предполагается в общей теории относительности, что время (скорость хода стандартных атомных часов) в точке A ниже на относительную величину $\frac{gH}{c^2}$, чем в точке B . Отсюда следует, что частота фотона, испускаемого атомом в точке A , уже в момент испускания *ниже* на относительную величину $\frac{gH}{c^2}$, чем частота фотона, испускаемого атомом в точке B . И, значит, частота фотона, пока он летит вверх, должна оставаться постоянной. Такой вывод очень сильно противоречит здравому смыслу и, конечно же, нуждается в экспериментальной проверке. И, что очень важно, такой проверки до сих пор не было.

Именно таким образом и интерпретирует С. Хокинг эффект красного смещения и поэтому преподносит этот эффект как экспериментальное доказательство замедления времени вблизи большой массы (по всей видимости, говоря о “двух очень точных часах”, он имеет в виду эксперимент Паунда-Рибки).

Но эффект красного смещения можно интерпретировать и по-другому. Например, предположить, что энергия и частота фотона

понижаются по мере его подъёма на относительную величину $\frac{gH}{c^2}$ (то есть энергия фотона понижается так же, как и энергия обычного тела). В этом случае придётся сделать вывод, что частота фотона, испускаемого атомом в точке *A*, *точно такая же*, что и частота фотона, испускаемого атомом в точке *B*. Следовательно, скорость времени в точках *A* и *B* одинакова.

В следующей главе будет показано, почему обе эти интерпретации неправильны, и в чём ошибочность дополнительных предположений, на которых они основаны. Но сейчас важно понять другое. Эти интерпретации явно противоречат друг другу, и использование их одновременно свидетельствует не только о непонимании общей теории относительности (в рамках общей теории относительности частота фотона *не изменяется*, пока он движется вверх), но и об отсутствии элементарной логики.

Теперь перейдём к следующей цитате из книги В. Брагинского “Удивительная гравитация”. В. Брагинский – один из ведущих специалистов в России в области экспериментальной гравитации и, на первый взгляд, кажется, что в вопросах, связанных с экспериментальной проверкой общей теории относительности, ему можно доверять. Но это не так. Потому что в другом месте этой же книги он пишет следующее [62,с.66]:

Теперь представим себе, что вместо шарика с некоторой высоты *H* мы “выпустили” (точнее, излучили вниз) один фотон, энергия которого $\hbar\omega$, где \hbar – постоянная Планка. Если воспользоваться формулой $E = mc^2$ и приравнять E к $\hbar\omega$, то следует считать, что фотон имеет массу $m = \hbar\omega/c^2$. Отметим, что эта масса не похожа на массу шарика. У фотона есть масса только в движении и, как говорят, нет массы покоя. При движении вниз масса фотона всё время находится в ускоряющем поле Земли g , и её потенциальная энергия убывает. Предположим, что со скоростью движения ничего не происходит, то есть она одна и та же наверху и внизу (это “очевидное” допущение требует добавочного анализа). Тогда остаётся лишь одна возможность для удовлетворения закона сохранения энергии: предположить, что изменение потенциальной энергии фотона в поле тяжести Земли превратится в изменение энергии самого фотона. А так как энергия фотона пропорциональна его частоте, то должен произойти сдвиг частоты $\Delta\omega_{гр}$.

Судя по этому отрывку, Брагинский, как и большая часть других физиков, неправильно понимает такой простой эффект, как красное (голубое) смещение, так как он использует для объяснения этого эффекта две взаимоисключающие друг друга интерпретации. И, кроме того, показывает незнание общей теории относительности, с точки зрения которой частота фотона, при его движении в статическом поле

тяжести, не изменяется. И именно поэтому не стоит ему доверять, когда он ссылается на эксперименты с часами, которые будто бы доказывают факт замедления времени.

Что касается широко известных самолётных экспериментов, выполненных американскими физиками, то мы вернёмся к ним позднее. А сейчас разберём эксперимент с “часами”, выполненный итальянскими физиками. Этот эксперимент практически неизвестен российским физикам, хотя на него часто ссылаются. Смотри, например, официальный сайт Государственного Астрономического института [81].

Всё дело в том, что итальянские физики проводили в 70-х годах не эксперименты с часами, а эксперименты с лазерами [85-87]. L. Briatore из физического института (Istituto di Fisica Generale dell'Università) в Турине и S. Leschiutta из электротехнического института (Istituto Elettrotecnico Nazionale) в Турине провели эксперимент, суть которого в следующем (смотри [87]). Между собой сравнивались частоты двух идентичных лазеров (двух цезиевых стандартов частоты), один из которых был установлен в лаборатории космических лучей на высоте 3 500 метров над уровнем моря, а другой – в Турине, на высоте 250 метров над уровнем моря. То есть, это был эксперимент по измерению гравитационного смещения спектральных линий, но не прямой эксперимент по измерению скорости времени.

Конечно, очень трудно доказать, что прямые эксперименты по измерению влияния гравитационного потенциала на скорость хода стандартных атомных часов ни разу не проводились. Всегда остаётся какая-то, пусть и очень маленькая вероятность, что такой эксперимент был, но просто мы не знаем о нём. Однако не только мы не знаем о таких экспериментах. *О таких экспериментах никто ничего не знает.*

Например, в пятом томе Физической энциклопедии, изданной в 1998 году, в статье “Тяготение” [41] очень подробно обсуждаются все эксперименты, подтверждающие общую теорию относительности. Но об экспериментах с часами не сказано ни слова. Но если бы эксперименты с часами всё-таки проводились, то можно не сомневаться в том, что в Физической энциклопедии об этом обязательно бы написали.

Другой пример. Статья академика Л. Окуня “Мысленные эксперименты с часами в статическом гравитационном поле” [80] написана в форме диалога между двумя физиками. Один физик (он излагает позицию автора) доказывает, что частота фотона, когда он движется в статическом гравитационном поле, не изменяется. Его оппонент возражает ему, полагая, что существующих гравитационных экспериментов (в том числе и широко известных самолётных экспериментов с атомными часами, которые также обсуждаются в этой

статье) ещё не достаточно, чтобы утверждать это. И в завершении спора оба физика соглашаются между собой в том, что необходимо провести прямой эксперимент по измерению зависимости скорости хода стандартных атомных часов от их высоты над земной поверхностью (смотри рисунок 5.11).

И, таким образом, из данной статьи можно сделать вывод, что такого эксперимента НЕ БЫЛО.

Я полностью солидарен с академиком Л. Окунем в том, что подобный эксперимент необходимо провести в ближайшее время. Но в отличие от него я уверен, что скорость хода атомных часов будет *уменьшаться* (вопреки общей теории относительности) с увеличением высоты над земной поверхностью. И поэтому вторые часы будут опережать первые на интервал времени: $\Delta t = 2T \frac{gH}{c^2}$ (смотри параграф 3.6).

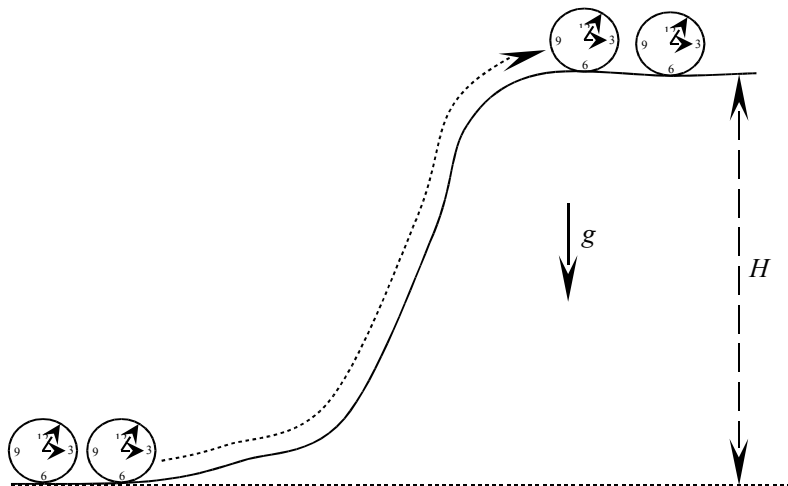


Рисунок 5.11. Двое высокоточных идентичных атомных часов расположены на одинаковой высоте и синхронизированы между собой. Затем одни часы поднимаются на высоту H . Спустя длительное время T , вторые часы аналогичным образом также поднимаются на высоту H . После этого показания

часов сравниваются. С точки зрения общей теории относительности вторые часы должны отстать от первых на интервал времени $\Delta t = TgH/c^2$.

Тот факт, что в серьёзном научном журнале этот эксперимент обсуждается как мысленный, означает, что в действительности подобный эксперимент не проводился.

5.8 Как следует проверять общую теорию относительности?

Для того чтобы проверить какую-либо физическую теорию экспериментально, в первую очередь, необходимо экспериментально проверить те основные предположения, на которых строится эта теория. И так как в основе общей теории относительности лежит принцип эквивалентности (то есть предположение о физической эквивалентности однородного гравитационного поля и равномерно ускоренной системы отсчёта), то, следовательно, в первую очередь, необходимо экспериментально проверить этот принцип.

А как следует проверять принцип эквивалентности? Во всех книгах по общей теории относительности ставится знак равенства между этим принципом и равенством инертной и гравитационной масс. И поэтому для проверки принципа эквивалентности предлагается проверять равенство инертной и гравитационной масс всё с более высокой точностью.

Но как было показано в параграфе 5.1, – это ошибка. Принцип эквивалентности не сводится к равенству инертной и гравитационной масс. Например, основываясь только на равенстве инертной и гравитационной масс, мы ничего не сможем сказать о том, *как изменится* скорость времени в гравитационном поле. Но если мы будем основываться на принципе эквивалентности, то сразу же сможем сделать вывод, что время замедляется в гравитационном поле (вблизи большой массы). Поэтому существует только один способ проверить принцип эквивалентности – это проверить, как изменяется скорость хода стандартных атомных часов в гравитационном поле. Но именно такой эксперимент до сих пор не был проведён!

Проводилось множество экспериментов по измерению гравитационного смещения спектральных линий, в том числе и эксперименты по сравнению частот двух идентичных лазеров (квантовых стандартов частоты), расположенных на разных высотах. Но эксперименты с часами не проводились! И таким образом, принцип эквивалентности, который лежит в самом фундаменте общей теории относительности, всё ещё не проверен экспериментально.

В большинстве книг по общей теории относительности в качестве экспериментального доказательства принципа эквивалентности (помимо равенства инертной и гравитационной масс) часто ссылаются на эффект красного смещения. Вот, например, цитата из учебника Ч. Мизнера, К. Торна, Дж. Уилера “Гравитация”, параграф 7.4 “Обоснование принципа эквивалентности с помощью гравитационного красного смещения” [47, т.1, с.239,240]:

Правила игры – “научный метод” – требуют, чтобы для каждой новой теории или принципа было найдено экспериментальное подтверждение, и Эйнштейн мог рассматривать гравитационное красное смещение как эквивалент экспериментального подтверждения своего принципа эквивалентности. Такое подтверждение состоит из двух этапов: во-первых, теория или принцип должны предсказывать какой-то эффект (в следующем абзаце показано, как из принципа эквивалентности следует существование красного смещения); во-вторых, предсказанный эффект должен быть обнаружен экспериментально. Что касается второго этапа, то после экспериментов Паунда-Ревки-Снайдера мы сейчас находимся в гораздо лучшем положении, чем когда-то Эйнштейн.

Это широко распространённое рассуждение ошибочно. Эффект гравитационного смещения спектральных линий не является подтверждением принципа эквивалентности, потому что этот эффект следует из равенства инертной и гравитационной масс. Давайте разберём это простой вопрос.

Принцип эквивалентности формулируется на основе экспериментально проверенного равенства инертной и гравитационной масс. Это равенство проверено с очень высокой точностью, и сомнений в его истинности нет. Поэтому для того чтобы проверить принцип эквивалентности, необходимо проверить следствия, *которые вытекают из этого принципа, но которые в то же самое время не вытекают из равенства инертной и гравитационной масс*. Так как эффект красного смещения вытекает из равенства инертной и гравитационной масс, то именно поэтому его нельзя использовать для доказательства принципа эквивалентности.

Что касается всех остальных релятивистских гравитационных эффектов (смещение перигелия Меркурия; отклонение лучей света, проходящих вблизи Солнца, эффект Шапиро – “задержка” радиосигнала, проходящего вблизи Солнца), то все эти эффекты вытекают из приближённого уравнения (1.20) для квадрата интервала.

Но уравнение (1.20) нельзя рассматривать ни как подтверждение принципа эквивалентности, ни, тем более, как подтверждение основных уравнений (1.14) общей теории относительности. Потому что для получения уравнения для квадрата интервала, из которого вытекали бы все релятивистские гравитационные эффекты, достаточно сделать всего

два предположения. Во-первых, предположить, что длина стандартного метра (или размер атома) как-то изменяется в гравитационном поле. И, во-вторых, потребовать, чтобы полученные уравнения движения в случае слабого поля переходили в ньютоновский закон Всемирного тяготения (смотри параграф 3.4). А использование принципа эквивалентности, и, тем более, громоздкого тензорного аппарата общей теории относительности для этого совершенно не нужно.

И именно поэтому все релятивистские гравитационные эффекты (вопреки широко распространенному мнению) нельзя рассматривать ни как подтверждение общей теории относительности, ни даже как подтверждение принципа эквивалентности.

5.9 Доказательство ошибочности общей теории относительности

В этой главе мы очень подробно рассмотрели самые серьёзные ошибки, допущенные при построении общей теории относительности. Однако наличие ошибок при построении теории ещё не является гарантией её ошибочности. Потому что есть небольшой гипотетический шанс, что различные ошибки в результате “скомпенсируют” друг друга, как это случилось, например, при объяснении эффекта красного смещения (смотри параграф 5.2). Поэтому в этом параграфе мы приведём очень простое и ясное доказательство ошибочности общей теории относительности. И если среди читателей книги окажется сторонник общей теории относительности, то было бы интересно узнать, *как именно* он будет возражать против этого доказательства.

Прежде чем перейти к доказательству, напомним суть наиболее фундаментального принципа физики – принципа наименьшего действия. Частица, пусть это будет электрон, движется из точки A в точку B таким образом, чтобы затратить на пройденный путь минимальное действие ΔS_{AB} :

$$\Delta S_{AB} = \int_A^B dS = \min \quad (5.8)$$

До создания квантовой механики считалось, что представление уравнений движения в виде принципа наименьшего действия – это только удобный математический приём. И только после создания квантовой механики физический смысл этого принципа стал вполне ясен. Он 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. Вот что об этом писали Л. Ландау и Е. Лифшиц в третьем томе своего курса теоретической физики “Квантовая механика” [30,с.35]:

В квантовой механике электрон описывается волновой функцией, определяющей различные значения его координаты; об этой функции нам известно пока лишь то, что она является решением некоторого линейного дифференциального уравнения в частных производных. В классической же механике электрон рассматривается как материальная частица, движущаяся по траектории, вполне определяющейся уравнениями движения. Взаимоотношение, в некотором смысле аналогичное взаимоотношению между квантовой и классической механикой, имеет место в электродинамике между волновой и геометрической оптикой. В волновой оптике электромагнитные волны описываются векторами электрического и магнитного полей, удовлетворяющими определенной системе линейных дифференциальных уравнений (уравнений Максвелла). В геометрической же оптике рассматривается распространение света по определенным траекториям – лучам. Подобная аналогия позволяет заключить, что предельный переход от квантовой механики к классической происходит аналогично переходу от волновой к геометрической оптике.

И далее [30,с.36]:

Как известно, в механике траектория частиц может быть определена из вариационного принципа, согласно которому так называемое действие S механической системы должно быть минимальным (принцип наименьшего действия). В геометрической же оптике ход лучей определяется так называемым принципом Ферма, согласно которому должна быть минимальной “оптическая длина пути” луча, то есть разность его фаз в конце и начале пути.

Исходя из этой аналогии, мы можем утверждать, что фаза φ волновой функции в классическом предельном случае должна быть пропорциональна механическому действию S рассматриваемой системы, то есть должно быть $S = \text{const } \varphi$. Коэффициент пропорциональности называется *постоянной Планка* и обозначается буквой \hbar .

Итак, движение электрона (или любой другой частицы) можно описать двумя равноправными способами. Либо как движение частицы в соответствии с принципом наименьшего действия, либо как движение волны в соответствии с принципом Ферма. А это, в свою очередь, означает, что электрон движется из точки A в точку B таким образом, чтобы волна, связанная с электроном, совершила *минимум* собственных колебаний за пройденный путь.

То есть электрон, обладая волновыми свойствами, движется так, чтобы затратить минимум собственного времени на пройденный путь. Всё это хорошо известно.

Теперь рассмотрим электрон, который движется в поле тяжести земли g (смотри рисунок 5.12).

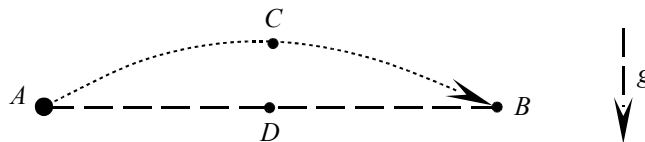


Рисунок 5.12

Для того чтобы затратить минимум действия, электрон движется из точки A в точку B через точку C . Действие, совершаемое электроном, пропорционально изменению фазы волны, связанной с ним. То есть электронная волна, двигаясь из точки A в точку B через точку C , совершает меньшее число собственных колебаний, чем если бы она двигалась по прямой через точку D . И это означает, что длина электронной волны в верхней части кривой (в точке C) *больше*, чем в точке D (вдоль кривой ACB укладывается меньшее число волн, чем вдоль прямой ADB). А так как скорость движения электронной волны (скорость электрона) уменьшается с увеличением высоты над земной поверхностью, то, следовательно, период электронной волны *увеличивается*. То есть частота электронной волны *понижается* по мере подъёма электрона в поле тяжести. И это понятно, потому что энергия электрона *уменьшается*.

Итак, частота волны, связанной с движущимся электроном, *понижается* по мере подъёма электрона в поле тяжести. Это достаточно простой и даже очевидный вывод. И этого вывода вполне достаточно, чтобы доказать ошибочность общей теории относительности.

Пусть первая лаборатория находится вдали от больших масс (вне гравитационного поля), а вторая лаборатория свободно падает в однородном гравитационном поле (смотри рисунок 5.13).

В основе общей теории относительности лежит принцип эквивалентности, который утверждает, что законы движения будут в обеих лабораториях *абсолютно одинаковы*. Пусть наблюдатель в первой лаборатории сравнивает между собой частоты световой и электронной волн в точках A и B . Ясно, что он получит один и тот же результат,

потому что и частота световой волны и частота электронной волны остаются постоянными при движении в инерциальной системе отсчёта.

Наблюдатель, находящийся во второй, свободно падающей лаборатории, сравнивает между собой частоты световой и электронной волн в точках A и B . И если принцип эквивалентности верен, то он также должен получить одинаковый результат для точек A и B . И, следовательно, частота световой волны должна *изменяться* при движении в гравитационном поле *точно так же*, как и частота электронной волны.

Итак, если предположить, что частота световой волны остаётся неизменной при движении в статическом гравитационном поле (как это утверждается в общей теории относительности, смотри параграф 4.2), то принцип эквивалентности не верен. Потому что частота электронной волны *изменяется*. А если предположить, что принцип эквивалентности верен, то частота световой волны должна изменяться при движении в статическом гравитационном поле (точно так же, как и частота электронной волны). И в любом случае мы приходим к выводу, что общая теория относительности не верна.

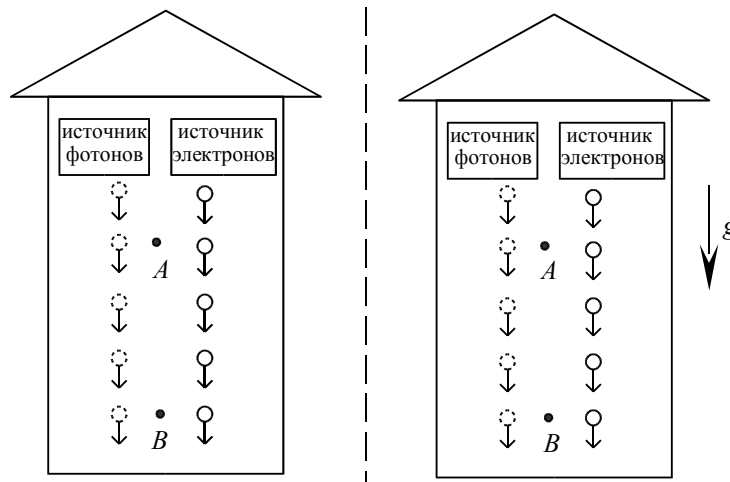


Рисунок 5.13. Первая лаборатория (слева) находится вдали от больших масс и представляет собой инерциальную систему отсчёта. Вторая лаборатория

(справа) свободно падает в однородном гравитационном поле g и представляет собой локально инерциальную систему отсчёта. В каждой лаборатории есть источник фотонов и электронов. И наблюдатель сравнивает между собой частоты световой и электронной волн в точках A и B .