Ход времени в поле гравитации.
Время замедляется или ускоряется в поле гравитации? Какие существуют доказательства и являются ли они строгими с научной точки зрения?
к вопросу об Эффекте Солошенко-Янчилина

Солошенко М.В., Янчилин В.Л.

Согласно обшей теории относительности Эйнштейна время замедляется в поле гравитации. Для обоснования постулата о темпоральном процессе ОТО используется ряд аргументов. Кратко рассмотрим эти аргументы и покажем, что все они не могут являться прямым доказательством замедления времени в поле гравитации и носят лишь косвенный характер в рамках парадигмы теории ОТО. Мы настаиваем, что до сих пор нет ни одного физического факта в виде прямого доказательства, свидетельствующего о замедлении времени в поле гравитации. Замедление времени в поле гравитации – это предположение ОТО, до сих пор не имеющее валидного измерения. Пока не получено валидное сравнение хода часов при разных гравитационных потенциалах (сравнение значений частоты излучения атома как стандарта времени) эффект замедления времени в поле гравитации также как и возможность обратного эффекта (ускорения времени в поле гравитации, Эффект Солошенко-Янчилина [25]-[28]) являются гипотезами без физического факта.

Покажем что, несмотря на множество проведенных физических экспериментов, до сих пор отсутствует прямое физическое доказательство замедления времени в поле гравитации (далее, после таблицы, будут подробно рассмотрены перечисленные аргументы).

Аргумент, используемый для обоснования замедления времени в поле гравитации (согласно ОТО)	**Причины, по которым аргумент не является прямым доказательством**
1. Принцип эквивалентности Из равенства инертной и гравитационной масс, что все тела падают в гравитационном поле с одинаковым ускорением, выводится принцип эквивалентности. Равенство инертной и гравитационной масс установлено с высокой точностью. Слабый принцип эквивалентности и сильный принцип эквивалентности проверены в различных экспериментах с уровнем точности 10^{-7} и 10^{-13}. Считается, что из принципа эквивалентности следует замедление времени вблизи большой массы.	**Замедление времени вблизи большой массы как следствие принципа эквивалентности – это предположение. Пока оно не доказано экспериментом.** 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. **Но по какому времени измеряется ускорение свободного падения $\vec{g}$, по местному или мировому?** **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. 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? 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.

	Скорость местного времени не связана с равенством инертной и гравитационной масс. Без эксперимента неизвестно заранее, 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. **Экспериментально не установлено, что местное время изменяется в однородном гравитационном поле точно так же, как и в равноускоренной системе отсчёта.** Эксперимент с атомными часами позволит дать объективный ответ (см. описание проекта Башня Времени [25]-[29]).
2. Эффект красного смещения Эксперименты по измерению величины красного смещения (различные модификации эксперимента Паунда-Ребки).	Если какое-либо физическое явление может иметь объяснение разными причинами, причиной X или причиной Y, мы не имеем строго научного основания утверждать, без факта эксперимента, что физическое явление вызвано конкретной причиной из двух возможных. Без экспериментального факта утверждение о причине будет гипотезой. В случае эффекта красного смещения величина гравитационного смещения спектральных линий – эффект, вызванный суммой двух эффектов. Это изменение частоты фотона, испускаемого атомом наверху плюс изменение частоты фотона, пока он летит сверху вниз. Эффект имеет объяснение в рамках закона сохранения энергии (причина X). Эффект также объясняется ОТО причиной замедления времени в поле гравитации (причина Y). **Однако, эффект красного смещения согласуется с ОТО только если энергия и частота фотона не изменяются в гравитационном поле.** **Если энергия и частота фотона изменяются при движении в гравитационном поле, то эффект красного смещения нельзя объяснять замедлением времени в поле гравитации (причиной Y).** **Нет ни одного эксперимента, доказывающего, что энергия и частота фотона не изменяются при движении в гравитационном поле.** Эксперимент с атомными часами позволит дать объективный ответ (см. описание проекта Башня Времени).
3. Измерение релятивистских	Для надежной регистрации эффекта ускорения времени на

эффектов посредством спутников системы GPS	спутниках, вытекающего из ОТО, требуются атомные часы с погрешностью $10^{-12} \div 10^{-11}$. **Требуются именно часы, состоящие из атомного стандарта частоты и счетчика колебаний (осцилляций атома).** Таких часов на спутниках нет. На спутниках есть высокоточный атомный стандарт частоты, но нет высокоточного счётчика. Когда в научной и научно-популярной литературе говорится о высокоточных измерениях релятивистских эффектов часами на спутниках с точность 10^{-13} и выше, то речь идёт об оптических «часах» - в таких измерениях производится сравнение не показаний часов, а отношение частот двух лазеров и сравнение смещения спектральных линий. **Оптические можно сопоставлять атомным только при условии, что частота и энергия фотона не изменяются при движении в гравитационном поле.** **Т.е. такие измерения с использованием спутников связаны с эффектом красного смещения** (детально вопрос будет рассмотрен ниже), но не измерением времени (числа атомных осцилляций за единицу длительности – атомную секунду).
4. Сообщения в научной литературе о многократных измерениях эффекта замедления времени в поле гравитации (согласно ОТО) с помощью высокоточных атомных часов.	Все эксперименты, кроме Хафеле-Китинга, это эксперименты не с атомными часами, а с оптическими часами (лазерами/мазерами). И в них сравниваются не показания часов (счётчик квантовых событий – осцилляций), а отношение частот двух лазеров. То есть это эксперименты по измерению гравитационного смещения спектральных линий. **Существует только один эксперимент, где проводилось прямое сравнение показаний атомных часов – эксперимент Хафеле-Китинга (США,1971 г.). Точность атомных часов в 1971 г. была недостаточной, чтобы получить валидный результат.** Величина ожидаемого эффекта ОТО – 10^{-12} сек. Точность часов по счётчику была лишь 10^{-11} сек. Указанная в статье Science точность часов на уровне 10^{-13} сек. соответствовала стабильности по частоте – т.е. можно было подтвердить только эффект красного смещения! **Иными словами, этот эксперимент нельзя рассматривать как прямое доказательство замедления времени в поле гравитации.** Чтобы получить валидный результат требуется сравнить значение атомной частоты при разных гравитационных потенциалах с необходимым уровнем точности. Например, для высоты в 500 м, эффект ОТО будет на уровне 10^{-14} сек., значит, для получения валидного измерения необходим уровень точности 10^{-15} сек. (см. описание проекта Башня Времени).

5. Эксперимент Шапиро

Эксперимент по измерению временной задержки радиосигнала, проходящего вблизи Солнца.

Время прохождения радиосигнала от Земли до Меркурия и обратно (когда Солнце находилось между планетами) было измерено с хорошей точностью. **Однако, это нельзя назвать прямым экспериментом по измерению скорости света вблизи Солнца.**

Как мы можем знать, ускоряется или замедляется электромагнитная волна вблизи Солнца?
Мы не можем сделать измерение времени прохождения радиосигнала для случая «выключенного» гравитационного поля Солнца и случая «включённого» гравитационного поля Солнца, чтобы сравнить значения.
Сравнение времени прохождения, полученного в результате измерения, шло с расчётным теоретическим временем прохождения радиосигнала в пустом пространстве без гравитационного поля Солнца.
Эксперимент описан в книге Вейнберга «Гравитация и Космология» [15], поэтому в настоящей статье детально рассматривать не будем.

Мы должны отметить лишь главное.
Из эксперимента Шапиро нельзя сделать прямой вывод, что скорость света вблизи Солнца замедляется.
Можно сделать лишь вывод, что приближённое уравнение для квадрата интервала ($\Delta T/T = gH/c^2 = \Delta\omega/c^2$), определяющее движение света в слабом гравитационном поле, справедливо в гравитационном поле Солнца с точностью около 1%.
А уже из самого уравнения квадрата интервала (который и определяется экспериментом) делается вывод, что время замедляется в поле гравитации.

И мы должны также повторить - согласно ОТО энергия и частота фотона не изменяются при движении в гравитационном поле. Это лежит в основе всех теоретических расчётов ОТО. Однако, нет ни одного эксперимента, доказывающего, что энергия и частота фотона не изменяются при движении в гравитационном поле.

Все приводимые аргументы в пользу замедления времени в поле гравитации носят характер косвенных доказательств (ниже они будут рассмотрены подробнее).

Только прямое сравнение показаний атомных часов при разных гравитационных потенциалах может дать подлинный ответ.

До факта результата прямого сравнения показаний атомных часов при разных гравитационных потенциалах, согласно проекту Башня Времени (см. [25]-[29]), нельзя утверждать на 100% о замедлении времени в поле гравитации (согласно ОТО) как о реальном физическом факте. Следовательно, до факта измерения нельзя утверждать на 100%, что не существует возможности для обратного эффекта – ускорения времени в поле гравитации (Эффект Солошенко-Янчилина).

1. Принцип эквивалентности

Принцип эквивалентности считается строго доказанным. А из него вытекает замедление времени вблизи большой массы. Но это не так. Принцип эквивалентности не проверен экспериментально. Эксперимент с часами может его опровергнуть.

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 $-\vec{g}$ (см. рис. 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?

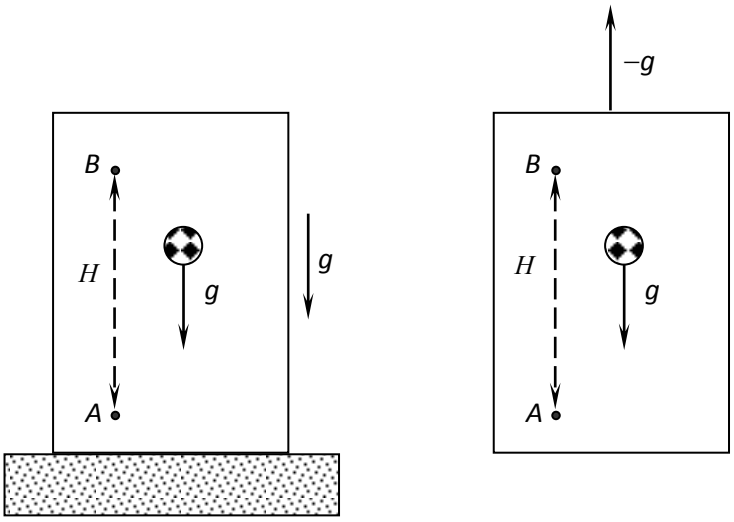


Рис.1 Первая лаборатория (слева) неподвижна и находится в постоянном и однородном гравитационном поле g. Вторая лаборатория (справа) движется с постоянным ускорением $-g$ в пустом пространстве. Принцип эквивалентности утверждает, что ВСЕ физические процессы будут протекать в обеих лабораториях одинаково.

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 серьёзное противоречие. И для того чтобы увидеть это противоречие, 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.

Во-первых, можно предположить, что скорость хода стандартных атомных часов не изменяется в гравитационном поле (см. рис.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.

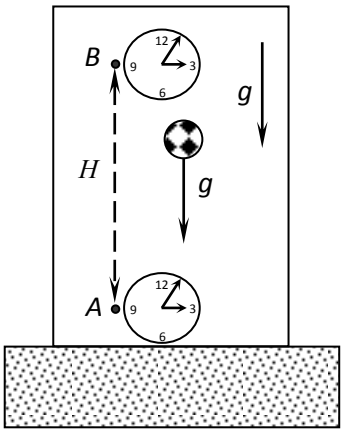


Рис.2 В однородном гравитационном поле все тела падают с постоянным ускорением g. Например, наблюдатель, находящийся в точке A со стандартными часами, обнаружит, что все тела движутся мимо него с ускорением g. И наблюдатель, находящийся в точке B со стандартными часами, также обнаружит, что все тела движутся мимо него с ускорением g.

Если исходить их 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.

Таким образом, первое противоречие состоит в том, что, исходя из равенства инертной и гравитационной масс, постулируется 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 так же, 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.

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

А есть ли какие-либо основания считать, что скорость хода атомных часов замедляется в гравитационном поле в соответствии с принципом эквивалентности? Таких оснований нет. Причём, нет ни теоретических, ни экспериментальных оснований.

2. Эффект красного смещения

2.1. Интерпретации красного смещения в научной литературе

В научной литературе по общей теории относительности часто используются две интерпретации красного гравитационного смещения спектральных линий.

Интерпретация № 1 Данная интерпретация рассматривается в ряде источников [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10].

Фотон обладает энергией E и, следовательно, он обладает массой $m = E/c^2$. Здесь c – скорость света.

Например, для случая башни, с двумя наблюдателями: в нижней точке – точке А, и верхней точке – точке В. Когда фотон движется из точки A в точку B, то совершает работу против гравитационного притяжения, и в результате его энергия уменьшается на величину: $\Delta E = mgH$. Так как частота фотона ω пропорциональна его энергии: $\omega = E/\hbar$, то уменьшение энергии фотона приводит к понижению его частоты: $\Delta\omega = \Delta E/\hbar = EgH/(c^2\hbar) = \omega gH/c^2$

И наблюдатель, находящийся в точке В, обнаружит, что частота фотонов, испускаемых атомами в точке А и прилетевших в точку В, ниже, чем частота фотонов, испускаемых точно такими же атомами в точке В, на относительную величину gH/c^2 .

Интерпретация № 2 Данная интерпретация рассматривается в ряде источников [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20]

В примере для случая башни, с двумя наблюдателями: в нижней точке А и верхней точке В, местное время в точке А течёт медленнее (у основания башни, где больше абсолютное значение гравитационного потенциала в сравнении с верхней точкой В), чем в точке В на относительную величину gH/c^2 . Например, стандартные атомные часы в точке А будут идти медленнее, чем точно такие же часы в точке В. И наблюдатель в точке В обнаружит, что все физические процессы, происходящие в точке А, идут медленнее, чем у него. В частности, он обнаружит, что частота фотонов, испускаемых атомами в точке А, ниже на относительную величину gH/c^2 чем частота фотонов, испускаемых точно такими же атомами в точке В.

Таким образом, обе интерпретации приводят к одному и тому же явлению – красному гравитационному смещению спектральных линий.

Во многих учебниках [3-6], [7], [8], [9], [10] обе эти интерпретации преподносятся так, как будто это просто разные способы описания одного и того же явления.

Но это не так.

Предположения, которые лежат в основе этих интерпретаций, противоречат друг другу. В интерпретации № 1 предполагается, что частота фотона, испущенного атомом в точке А точно такая же, как и частота фотона, испущенного атомом в точке В. А это, в свою очередь, означает, что скорость хода атомных часов в точке А будет точно такой же, как и в точке В. И это явно противоречит предположению, которое лежит в основе второй интерпретации согласно которой скорость хода атомных часов в точке А ниже, чем в точке В.

Таким образом, две существующие интерпретации красного смещения – это не различные взаимодополняющие способы описания одного явления. Эти интерпретации явно противоречат друг другу.

Интерпретация № 1 предполагает, во-первых, что скорость хода атомных часов в точке А точно такая же, как и в точке В. А во-вторых, что частота фотона, пока он движется из точки А в точку В, изменяется на относительную величину gH/c^2 . Интерпретация № 2 предполагает, во-первых, что скорость хода атомных часов в точке А ниже, чем в точке В. А во-вторых, что частота фотона, пока он движется из точки А в точку В, остаётся постоянной.

Данное противоречие разрешается в ряде работ с формулировкой гипотезы Эффекта Солошенко-Янчилина. Согласно гипотетическому Эффекту Солошенко-Янчилина частота излучения атома увеличивается в поле гравитации - время ускоряется в поле гравитации в связи с уменьшением значения постоянной Планка вблизи большой массы. Частота фотона, испускаемого атомом в точке А, выше, чем частота фотона, испускаемого точно таким же атомом в точке В. Но пока фотон летит из точки А в точку В его частота понижается, при чём не на величину gH/c^2, а значительно сильнее [25, 26, 27]. Эффект Солоенко-Янчилина и проект его экспериментальной проверки мы кратко рассмотрим в конце этой статьи, а пока продолжим рассмотрение противоречий в интерпретации эффекта красного смещения современной физикой как эффекта замедления времени в поле гравитации.

2.2. Интерпретация красного смещения в рамках ОТО

Большинство специалистов по ОТО неправильно интерпретируют эффект гравитационного смещения спектральных линий. Обе интерпретации красного смещения преподносятся так, как будто это всего лишь различные способы описания одного и того же явления. Чтобы понять масштаб этого, укажем наиболее яркие примеры: Ч. Киттель, У. Найт, М. Рудерман («Берклеевский курс физики» [1,с.442-444]), Макс Борн («Эйнштейновская теория относительности» [2,с.342,343]), Денис Сиама («Физические принципы общей теории относительности» [4,с.57,58]), Джон Уилер, Кип Торн, Чарльз Мизнер («Гравитация» [3,т.1,с.236]), Стивен Хокинг («Краткая история времени» [9,с.53]), В. Брагинский («Удивительная гравитация» [10,с.66]), В. Гинзбург («Экспериментальная проверка общей теории относительности» [7,с.107], статья опубликована в 1956 году в сборнике, посвящённом памяти Эйнштейна, но и двадцать три года спустя в книге «О теории относительности» [8,с.166] Гинзбург продолжает придерживаться первой интерпретации № 1), Я. Зельдович и И. Новиков («Общая теория относительности и астрофизика» [5,с.31,32], «Релятивистская астрофизика» [6,с.73]).

Все эти авторы для объяснения эффекта красного смещения используют интерпретацию № 1 на равных правах с интерпретацией № 2. Но две интерпретации красного смещения противоречат друг другу и поэтому не могут одновременно быть правильными. И, что важно, интерпретации № 1 нет места в ОТО – частота фотона не изменяется в гравитационном поле, согласно ОТО.

Как же следует интерпретировать эффект красного смещения в рамках ОТО?

Суть общей теории относительности в принципе эквивалентности. Из этого принципа следует, что время вблизи большой массы замедляется. Замедление времени вблизи большой массы – это главный вывод ОТО. Другой главный вывод ОТО – это гравитационное смещение спектральных линий. Согласовать между собой оба эти вывода можно только одним-единственным способом – предположить, что частота фотона, когда он удаляется (или приближается) к большой массе, не изменяется. Потому что если предположить, исходя из здравого смысла, что энергия и частота фотона уменьшаются, когда фотон вылетает из гравитационного поля, то мы получим величину красного смещения в два раза больше экспериментально установленного значения.

Например, фотон движется вверх в поле тяжести земли (от точки А к В). С точки зрения ОТО частота фотона, испущенного атомом в точке А, ниже на относительную величину gH/c^2 чем частота фотона, испущенного точно таким же атомом в точке В. Если также, исходя из здравого смысла, предположить, что энергия и, следовательно, частота фотона уменьшаются, пока он движется вверх из точки А в точку В, на относительную величину gH/c^2 (как предполагается интерпретации № 1), то мы получим, что величина красного смещения должна быть равна не gH/c^2 , а вдвое больше: $2gH/c^2$.

В качестве примера разберём цитату Я. Зельдовича и И. Новикова [5,с.31,32] и проанализируем типичные ошибки, которые совершаются при интерпретации эффекта красного смещения:

«Частота сигнала уменьшается при выходе его из поля тяготения и увеличивается при движении в обратном направлении. Соответственно этому меняется и энергия кванта $E = \hbar\omega$. Описанное явление называется гравитационным красным смещением. Для наблюдателя, находящегося на поверхности звезды, спектр испускания атомов выглядит точно так же, как и в лаборатории на Земле. Однако спектр тех же атомов звезды, наблюдаемый с Земли, сдвинут благодаря описанному явлению в красную сторону.

Гравитационное изменение частоты квантов демонстрирует изумительную стройность теории относительности. Действительно, описанное явление в рамках ньютоновской теории можно интерпретировать как потерю энергии квантами при выходе из поля тяготения. Но благодаря связи энергии и частоты ($E = \hbar\omega$) изменение энергии связано с изменением частоты, а последняя $\sim 1/\Delta\tau$. Таким образом, из этого факта следует изменение темпа времени в поле тяготения, то есть изменение свойств пространственно-временного континуума. Отсюда уже непосредственно вытекает теория тяготения Эйнштейна с идеей кривизны пространства- времени».

В первых двух предложениях первого абзаца авторы цитаты утверждают, что энергия и частота светового кванта понижаются, когда фотон вылетает из поля тяготения. Подчеркнём ещё раз, что с точки зрения ОТО частота фотона не изменяется, когда он вылетает их поля тяжести. Во втором абзаце авторы цитаты утверждают, что фотоны, вылетая из поля тяготения, теряют энергию, их частота понижается, и именно это приводит к эффекту красного смещения. А потом, исходя из

эффекта красного смещения, они «доказывают», что скорость времени изменяется в гравитационном поле. Но для того, чтобы такое доказательство имело силу, необходимо предположить, что когда фотон вылетает из гравитационного поля, его частота не изменяется, а эффект красного смещения вызван исключительно изменением скорости местного времени.

Повторим, интерпретация № 1 противоречит ОТО. Согласно ОТО верна интерпретация № 2. Согласно ОТО энергия и частота фотона не изменяются, когда он вылетает из поля притяжения огромной массы (частота и энергия фотона остаётся постоянной, когда фотон удаляется от большой массы или, наоборот, приближается к ней) – см. Л. Окунь, В. Телегди «Гравитация, фотоны, часы», № 10 «Успехи физических наук» за 1999 год [17]. Существуют, работы, в которых красное смещение объясняется строго в рамках ОТО. Например, монография В. Паули «Теория относительности» [14,§53], «Фейнмановские лекции по гравитации» [13,§7.2], классический учебник Л. Ландау и Е. Лифшица «Теория поля» [12,§88] и некоторые другие [15,16]. В этих книгах отсутствует интерпретация № 1.

В [17] объясняется, что интерпретация № 1 неверна [17,с.1145]:

«Простейшее (при этом неправильное) объяснение красного смещения основано на приписывании фотону инерциальной гравитационной массы $m_\gamma = E_\gamma/c^2$. *Благодаря такой массе фотон притягивается к земле с силой* gm_γ, *благодаря чему относительное изменение его энергии (частоты) на высоте H равно:* $\Delta E_\gamma/E_\gamma = \Delta\omega/\omega = -gm_\gamma H/m_\gamma c^2 = -gH/c$

С точностью до знака это в точности формула для «синего» смещения атомного уровня, что не удивительно. Атом и фотон рассматриваются здесь одинаковым образом: и тот, и другой – нерелятивистски! Это, разумеется, не годится для фотона. Если бы объяснение в терминах гравитационного притяжения фотона к Земле было правильно, тогда надо было бы ожидать удвоения красного смещения (сложение эффектов часов и фотона) в эксперименте типа Паунда и Ребки.».

И, наконец, цитата, в которой критикуются авторы книг, где излагается первая интерпретация [17,с.1142]:

«Авторы этих текстов неявно исходят из того, что безмассовый фотон подобен обычной массивной нерелятивистской частице, называют энергию фотона E, делённую на квадрат скорости света, c^2, *массой фотона и рассматривают «потенциальную энергию фотона» в гравитационном поле. Лишь редкие научно-популярные тексты не содержат этой неверной картины и подчёркивают, что энергия и частота фотона не меняются по мере его подъёма.».*

Итак, с точки зрения ОТО энергия и частота фотона не изменяются по мере его подъёма в гравитационном поле. Ещё раз подчеркнём, что сейчас речь идёт не о том, верна или неверна ОТО, а о том, как следует интерпретировать эффект красного смещения в рамках ОТО.

Если какой-либо «эксперт» скажет что-то вроде «Частота фотона остаётся постоянной по мировому времени. Но в экспериментах наблюдается только частота фотона, измеренная по местному времени. То есть частота фотона, измеренная по мировому времени не наблюдаема, и поэтому говорить о ней нет смысла» - то это ошибочное утверждение. Потому что в статическом гравитационном поле всегда можно ввести мировое время. И в каждом месте поля можно установить двое часов: одни часы будут показывать местное время, а другие – мировое. В этом

случае мы сможем измерить частоту фотона и по местному времени, и по мировому. И, значит, обе частоты будут наблюдаемы. И, конечно же, наибольший физический смысл имеет именно частота фотона, измеренная по мировому времени, так как изменение этой частоты отражает реальное изменение частоты фотона. А изменение частоты фотона по местному времени (это и есть эффект гравитационного смещения спектральных линий) отражает сумму двух эффектов: реальное изменение частоты фотона плюс изменение скорости местного времени.

2.3. Актуальность вопроса о неизменности частоты фотона при движении в гравитационном поле для интерпретации эффекта красного смещения

В «Докладах Академии наук» была напечатана статья «О противоречивости экспериментов, подтверждающих некоторые выводы общей теории относительности» [21].

Автор статьи В. Окороков предлагает три возможных варианта интерпретации красного смещения [21,с.617]:

«Возможны, по-видимому, три альтернативных варианта трактовки результатов экспериментов, исследующих гравитационный сдвиг частоты фотона:

а) частота фотона ν при подъёме в поле земли изменяется в полном соответствии с формулой, предсказываемой общей теорией относительности, $\Delta\nu/\nu = gH/c^2$, а положение уровней ядер и атомов не зависит от гравитационного потенциала;

б) частота фотона не меняется, а уровни ядер и атомов отслеживают изменение гравитационного потенциала в соответствии с зависимостью $\Delta\nu/\nu = gH/c^2$;

в) меняются и частота фотонов, и уровни ядер; в этом случае возможны различные варианты в зависимости от знака и величины этих изменений при перемещении в гравитационном поле.»

В. Окороков совершенно прав в том, что эффект гравитационного смещения спектральных линий можно интерпретировать по-разному. Но он не прав, когда полагает, будто бы в рамках ОТО частота фотона изменяется при подъёме в гравитационном поле (вариант а). Но эта его ошибка имеет очень простое объяснение. Ведь в подавляющем большинстве книг по общей теории относительности (как научных, так и научно-популярных) утверждается, что частота фотона уменьшается, когда он вылетает из поля тяготения [1-10].

Чтобы согласовать между собой два предсказания ОТО о замедлении времени и о красном смещении, необходимо, чтобы частота фотона не изменялась по мере его подъёма в гравитационном поле. Иначе будет логическое противоречие. Но, положение о неизменности энергии и частоты фотона по мере его подъёма в гравитационном поле противоречит здравому смыслу.

Нет ни одного эксперимента, в котором бы был доказан факт о том, что частота и энергия фотона не меняются в гравитационном поле. Результаты экспериментов по измерению красного смещения нельзя рассматривать в качестве доказательства о неизменности энергии и частоты фотона, т.к. в этих экспериментах предполагается, что частота электромагнитной волны не изменяется, но это не доказывается.

Эксперимент, предложенный авторами Эффекта Солошенко-Янчилина по сравнению показаний по атомной частоте пары высокоточных атомных часов, разнесённых по высоте [25], позволит выяснить изменяется или нет частота фотона (электромагнитной волны), когда он вылетает из гравитационного поля. Однако пока нет экспериментальных данных доказывающих, что частота фотона не меняется.

Проблема интерпретации красного смещения породила крупную дискуссию [18, 19, 20].

Именно поэтому авторы предлагают провести простейший эксперимент (см. ниже п.5 - рис. 5) по проверке изменения энергии и частоты фотона при движении в поле гравитации.

2.4. Гравитационное смещение спектральных линий есть следствие закона сохранения энергии

Для того чтобы рассчитать гравитационное смещение спектральных линий, совсем не нужно знание ОТО. Потому что гравитационное смещение спектральных линий можно рассчитать, основываясь только на законе сохранения энергии и равенстве инертной и гравитационной масс, не используя при этом ни принцип эквивалентности, ни предположение о замедлении времени. Такой вывод красного смещения изложен, например, в монографии Р. Дикке «Гравитация и Вселенная» [22,с.34] (смотри также «Фейнмановские лекции по гравитации» [13,с.129]).

Рассмотрим следующий циклический процесс (рис. 3). Мысленный эксперимент, позволяющий рассчитать величину гравитационного смещения спектральных линий, основываясь только на законе сохранения энергии.

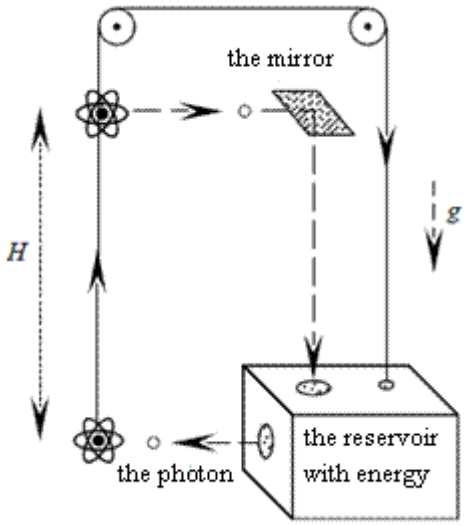


Рис. 3

1). Из резервуара с энергией вылетает фотон с энергией E_0 и, поглотившись атомом, переводит этот атом из обычного состояния в возбуждённое. При этом масса атома M увеличивается.

2). Из резервуара с энергией берётся энергия E_{M+} для того, чтобы поднять возбуждённый атом на высоту H.

3). Возбуждённый атом на высоте H излучает фотон, который, отразившись от зеркала, движется вниз и попадает в резервуар с энергией. Предположим, когда фотон попадает в резервуар, энергия фотона равна E_H.

4). Атом, испустив фотон, возвращается в основное состояние и затем падает вниз, возвращая резервуару энергию E_M.

В результате такого циклического процесса всё возвращается в исходное состояние. Поэтому, на основании закона сохранения энергии, можно сделать вывод, что энергия E_0+E_{M+}, взятая из резервуара, в точности равна энергии E_H+E_M, возвращённой в резервуар: $E_0+E_M+ = E_H+E_M$ или $E_H - E_0 = E_{M+} - E_M$.

Физический смысл этого уравнения следующий. Возбуждённый атом, находящийся на высоте H, испускает фотон. Когда этот фотон прилетает вниз, его энергия равна E_H. И эта энергия больше, чем энергия фотона E_0, испускаемого точно таким же атомом внизу: $E_H > E_0$, потому что для поднятия вверх возбуждённого атома нужно затратить больше энергии, чем для поднятия невозбуждённого атома: $E_{M+} > E_M$. Возбуждённый атом тяжелее невозбуждённого на величину E_0/c^2 и поэтому $E_{M+} - E_M = (E_0/c^2)gH$ и $E_H - E_0 = (E_0/c^2)gH$.

Так как энергия фотона E пропорциональна его частоте ω, то в результате получаем хорошо известную формулу для гравитационного смещения спектральных линий: $\Delta\omega/\omega = gH/c^2$.

Таким образом, гравитационное смещение спектральных линий следует из закона сохранения энергии и из экспериментально проверенного равенства инертной и гравитационной масс. Для вывода указанного уравнения не нужны ни уравнения Эйнштейна, ни принцип эквивалентности, ни предположение о замедлении времени. Поэтому экспериментальное подтверждение уравнения $\Delta\omega/\omega = gH/c^2$ в экспериментах типа Паунда-Ребки не является подтверждением общей теории относительности. Кроме того, при выводе этого уравнения мы не делали никаких предположений об изменении свойств атома, поднятого на высоту H. Возможно, свойства атома как-то изменяются, когда его поднимают вверх, а, возможно, – нет. Для вывода уравнения это не имеет значения. Мы также не делали никаких предположений о том, изменялась или нет энергия фотона, когда он двигался сверху вниз. Мы не знаем, какая энергия была у этого фотона в момент его испускания возбуждённым атомом, находящимся на высоте H. Мы можем только рассчитать (на основании закона сохранения энергии), какая будет у фотона энергия, когда он прилетит вниз в резервуар с энергией. Но именно этого и достаточно для вывода уравнения для гравитационного смещения спектральных линий.

Необходимо подчеркнуть, что величина Δ ω – это не изменение частоты фотона, пока он движется сверху вниз. Частота фотона, испускаемого атомом наверху, отличается от частоты фотона, испускаемого атомом внизу. И, кроме того, пока фотон летит сверху вниз, его частота также изменяется.

Величина гравитационного смещения спектральных линий Δ ω – эффект, вызванный суммой двух эффектов. Это изменение частоты фотона, испускаемого атомом наверху плюс изменение частоты фотона, пока он летит сверху вниз.

Следует также отметить, что вывод гравитационного смещения, основанный на законе сохранения энергии, коренным образом отличается от интерпретации № 1 красного смещения, которая, на

первый взгляд, также основана на законе сохранения энергии. Интерпретация № 1 не корректна, потому что содержит два необоснованных предположения. Во-первых, в интерпретации № 1 предполагается, что свойства атома не изменяются в гравитационном поле. И, во-вторых, предполагается, что кинетическая энергия фотона, при его движении в гравитационном поле, изменяется точно так же, как и кинетическая энергия обычной нерелятивистской частицы, которая имеет ненулевую массу покоя. Оба эти предположения неверны.

И поскольку эффект гравитационного смещения спектральных линий следует из закона сохранения энергии, то он не может быть прямым доказательством эффекта замедления времени в поле гравитации ОТО. Любые эксперименты, где сравниваются отношения частот лазеров/мазеров (используются оптические часы) не являются прямым доказательством постулата ОТО о темпоральном процессе. Единственным прямым доказательством эффекта замедления времени в поле гравитации может быть только прямое сравнение показаний атомных часов (частот излучения атома) при разных гравитационных потенциалах.

2.5. Так всё-таки, изменяются или нет энергия и частота фотона, когда он вылетает из гравитационного поля?

Какие существуют основания, для утверждения (что делается в ОТО) о том, энергия и частота фотона не изменяются по мере его подъёма в гравитационном поле? Во-первых, существует или нет экспериментальное подтверждение этого утверждения? И, во-вторых, на основании каких теоретических рассуждений было сделано такое утверждение?

Повторим, эксперименты, доказывающие неизменность энергии и частоты фотона для случая движения в гравитационном поле, не проводились.

Теперь посмотрим, какие теоретические доводы используются в ОТО для обоснования того, что частота и энергия фотона не изменяются по мере его подъёма в гравитационном поле.

Предположим, что у основания башни стоит человек и каждый час ударяет в колокол. И если наблюдатель на верху башни 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 наблюдатель, находящийся наверху, услышал бы 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. Впервые такие доводы были приведены Эйнштейном в его работе «О влиянии силы тяжести на распространение света» [11], опубликованной в 1911 году. Затем эти доводы многократно использовались в научной литературе. Наиболее ясно и доходчиво они изложены в книге Ч. Мизнера, К. Торна и Дж. Уилера «Гравитация»[3,§7.3].

Авторы знаменитого учебника по ОТО, основываясь на эффекте красного смещения, «доказывают», что время замедляется вблизи большой массы. Но это, часто встречающееся в научной литературе «доказательство» ошибочно. Ошибка этого доказательства состоит в том, что для описания движения фотонов (электромагнитной волны) используются классические представления о движении, которые неприменимы для описания квантовых объектов.

Чтобы лучше это понять, предположим, что снизу башни (из точки А в точку В) в течение одной секунды (по местному времени в точке А) вылетает миллиард фотонов с частотой 10^{15} Гц (фотоны такой частоты воспринимаются человеческим глазом как синие). Теперь предположим, для наглядности, что разница гравитационного потенциала между точками В и А столь велика, что наблюдатель в точке В воспринимает прилетающие снизу фотоны как «красные» (то есть частота фотона по местному времени в точке В равна $0{,}5 \cdot 10^{15}$ Гц). Допустим, что в течение интервала времени Δt (по местному времени в точке В) верхний наблюдатель поймал все фотоны, которые вылетели из точки А. Предположим также, что все фотоны долетели из точки А в точку В и, следовательно, верхний наблюдатель зарегистрировал ровно миллиард фотонов в течение интервала времени Δt.

И теперь верхний наблюдатель должен ответить на вопрос: где местное время (стандартные атомные часы) идёт быстрее, в точке А или в точке В? Если интервал времени Δt больше одной секунды, то скорость местного времени в точке А выше, чем в точке В. Если интервал времени Δt меньше одной секунды, то, наоборот, скорость местного времени в точке А ниже, чем в точке В. И, наконец, если интервал времени Δt равен одной секунде, то скорость местного времени одна и та же и в точке А и в точке В.

Итак, чтобы выяснить, где местное время течёт быстрее, нужно определить, как изменяется частота, с которой летят фотоны, по местному времени. Потому что частота, с которой летят фотоны, если её измерять по мировому времени остаётся постоянной. Ведь фотоны никуда по дороге не исчезают! И именно поэтому изменение этой частоты, измеренной по местному времени, будет означать не что иное, как изменение скорости местного времени.

А может ли верхний наблюдатель сделать вывод о скорости времени в точке А по цвету прилетевших снизу фотонов? Нет, не может. Потому что частота (цвет) фотона – это частота его внутренних колебаний. С такой частотой изменяется амплитуда волновой функции фотона – амплитуда волны вероятности. Эту частоту нельзя представлять в виде реально существующих в пространстве гребней и впадин, как это делают авторы Мизнер, К. Торн и Дж. Уилера в «Гравитация» [3,§7.3]. Частота фотонов, вылетающих снизу, равна 10^{15} Гц, и если следовать логике авторов [3,§7.3], то верхний наблюдатель должен зарегистрировать 10^{15} колебаний. Но он в принципе не сможет этого сделать!

Итак, чтобы выяснить, где местное время течёт быстрее, нужно измерять не изменение частоты отдельного фотона, а изменение частоты, с которой летят фотоны. Потому что только эта частота остаётся постоянной по мировому времени.

Таким образом, во всей научной литературе по ОТО, начиная с ранней работы Эйнштейна [11], делается одна и та же ошибка. Во-первых, для описания движения фотонов (электромагнитной волны) используются классические представления о «гребнях» и «впадинах», реально существующих в пространстве. Во-вторых, предполагается, как само собой разумеющееся, что эти «гребни» и «впадины» вполне материальные, и поэтому их общее число при движении электромагнитной волны должно сохраняться. И уже отсюда делается неверный вывод о том, что и частота электромагнитной волны также должна оставаться неизменной по мировому времени.

Никаких «гребней» и «впадин» в пространстве при движении фотона в действительности не существует. Потому что эти «гребни» и «впадины» – это не реальные (материальные) волны, а волны вероятности. И при регистрации фотона все эти гребни и впадины тут же исчезают без следа.

Существует и более простой аргумент.

Самая общая формулировка принципа распространения волны: любая волна движется так, чтобы затратить на пройденный путь МИНИМУМ СОБСТВЕННОГО ВРЕМЕНИ.

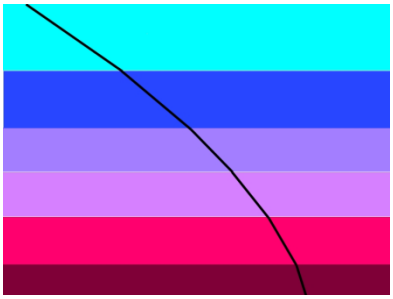
Если по какой-то причине частота волны ПОСТОЯННА, то принцип её распространения можно сформулировать иначе: любая волна, если её частота постоянна, движется так, чтобы затратить на пройденный путь МИНИМУМ ВРЕМЕНИ.

Это понятно. Потому что в этом случае собственное время «тикает» с той же скоростью, что и мировое время.

Следовательно, волна, имеющая постоянную частоту, всегда будет поворачивать в ту сторону, где её скорость меньше.

А теперь посмотрим, что следует из этих принципов. Пусть электрон приближается к Земле. Предположим, частота волны, связанная с электроном, остаётся постоянной. В таком случае электрон должен повернуть в ту сторону, где его скорость меньше.

Именно так движется свет с постоянной частотой в среде с переменным показателем преломления.



Луч света движется из верхнего левого угла вниз направо. Наверху скорость света максимальна, показатель преломления самый низкий. По мере движения вниз каждый раз (новый цвет) свет попадает в среду с более высоким показателем преломления и более низкой скоростью. Свет ВСЕГДА поворачивает туда, где его скорость ниже (ЧАСТОТА СВЕТА ПОСТОЯННА).

Но куда поворачивает электрон? К Земле. Примерно такую же траекторию будет иметь электрон, двигаясь в поле тяготения Земли. Но у Земли его скорость больше!

Следовательно, частота волны, связанной с электроном, не постоянна. Она ВОЗРАСТАЕТ.

А так как гравитация влияет на ВСЕ процессы одинаково, то и частота света, когда он приближается к Земле или Солнцу, должна ВОЗРАСТАТЬ.

Это простейшее противоречие в утверждении ОТО о неизменности частоты и энергии фотона при движении в поле гравитации.

Согласно авторам, Эффект Солошенко-Янчилина предсказывает, в частности, что энергия и частота фотона меняются, когда фотон вылетает из гравитационного поля. Экспериментальное подтверждение гипотезы об Эффекте Солошенко-Янчилина позволит доказать это как физический факт.

3. Измерение релятивистских эффектов посредством спутников системы GPS

А что показывают измерения на спутниках системы GPS? Разве GPS не доказывает замедление времени в поле тяготения, как предсказывает ОТО?

С одной стороны, согласно специальной теории относительности (СТО) на спутниках скорость хода стандартных часов должна замедляться из-за большой скорости. С другой стороны, согласно общей теории относительности (ОТО), скорость хода часов должна возрастать из-за уменьшения гравитационного потенциала (уменьшения абсолютного значения гравитационного потенциала).

Оценим величину обоих эффектов и, исходя из этого, оценим, какая точность должна быть у часов для надёжной регистрации этих эффектов.

Низколетящие спутники

Нетрудно показать, что для низколетящих спутников релятивистские эффекты превышают гравитационные. Например, МКС летает со средней скоростью около $V \approx 7{,}6$ км/с, на высоте примерно $H \approx 400$ км. При этом релятивистский эффект замедления времени относительно наземных часов составляет (мы пренебрегаем поправкой, связанной с вращением Земли):

$$\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}$$

Подставляя численные величины, получаем:

$$\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}} \approx \sqrt{1-\frac{7{,}6^2}{3^2\cdot 10^{10}}} \approx 1-\ \frac{1}{2}\,6{,}4\cdot 10^{-10} \approx 1-\ 3{,}2\cdot 10^{-10}$$

Таким образом, согласно СТО скорость хода часов на МКС должна замедлиться на относительную величину $3{,}2\cdot 10^{-10}$.

Согласно ОТО, скорость хода часов должна возрасти на относительную величину gH/c^2. Мы пренебрегаем изменением ускорения свободного падения g, так как высота полёта МКС много меньше радиуса Земли. Подставляя численные величины получаем:

$$\frac{10\cdot 400\cdot 10^3}{10^{17}} = 4\cdot 10^{-11}$$

Итак, мы видим, что для низко летящих спутников величина гравитационного эффекта на порядок меньше релятивистского.

Для надёжной регистрации обоих эффектов нужны атомные часы с погрешностью не хуже, чем 10^{-12} по атомной частоте.

Высоколетящие спутники

Такие спутники летают на высоте около 20 тыс. км. Соответственно радиус их орбит порядка $r \approx$ 26,5 тыс. км. Изменение гравитационного потенциала в этом случае составляет:

$$\Delta\varphi = G\frac{M}{R} - G\frac{M}{r} \approx G\frac{M}{R} - G\frac{M}{4R} \approx \frac{3}{4}G\frac{M}{R}$$

Здесь $M \approx 6{\cdot}10^{24}$ кг – масса Земли, $R \approx 6{,}4{\cdot}10^{6}$ м – её радиус, $G \approx 6{,}7{\cdot}10^{-11}$ кг$^{-1}$м^{3}с$^{-2}$ – гравитационная постоянная. Подставляя численные величины, получаем:

$$\Delta\varphi = \frac{3}{4}G\frac{M}{R} \approx \frac{3}{4}6{,}7\cdot10^{-11}\frac{6\cdot10^{24}}{6{,}4\cdot10^{6}} \approx 4{,}5{\cdot}10^{7}\ \text{м}^2/\text{с}^2$$

Гравитационный эффект ускорения времени на высоких орбитах согласно общей теории относительности равен:

$$\frac{\Delta\varphi}{c^2} = G\frac{M}{c^2R} - G\frac{M}{c^2r} \qquad \frac{\Delta\varphi}{c^2} \approx \frac{4{,}5\cdot10^{7}}{9\cdot10^{16}} = 5{\cdot}10^{-10}$$

Орбитальные скорости спутников около $v \approx 4$ км/с. Поэтому релятивистское замедление времени составит:

$$\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \approx \sqrt{1-\frac{4^2}{3^2\cdot10^{10}}} \approx 1 - \frac{1}{2}\cdot\frac{16}{9}\cdot10^{-10} = 1 - \frac{8}{9}\cdot10^{-10}$$

Таким образом, эффект относительного замедления времени порядка 10^{-10} сек.

Мы видим, что для высоколетящих спутников гравитационный эффект превышает релятивистский.

Для надёжной регистрации обоих эффектов нужны атомные часы с погрешностью не хуже чем 10^{-11} сек.

Спутники с высокоточными часами играют роль ретрансляторов, а для этого показания часов на каждом спутнике корректируются с учётом системы Всемирного координированного времени.
Спутники, посылая сигналы точного времени, передают информацию не о скорости хода часов, расположенных на спутнике, а информацию о Всемирном координированном времени. Для работы системы навигации GPS достаточно высокоточных квантовых генераторов частоты и не очень точных часов (не позволяющих дать необходимое измерение), которые, кстати, постоянно корректируются с Земли (несколько раз в полчаса). Регистрация изменений частоты радиосигналов на земле не позволяет без дополнительных предположений определить скорость хода часов на спутниках.

Какой точности измерительное оборудование на спутниках?

Вопреки широко распространенному мнению, на спутниках GPS, ГЛОНАСС и других навигационных систем необходимых высокоточных атомных часов нет (измерительных устройств, способных измерять интервал времени по стандарту атомной частоты).

На каждом спутнике имеются, как правило, 4 стандарта атомной частоты: 2 рубидиевых и 2 цезиевых, с погрешностью $2\div5{\cdot}10^{-13}$ (см. например, [23] справочное издание: Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС. Москва, «Горячая линия – Телеком», 2005). Стандарты атомной частоты – это устройства способные выдавать сигнал высокостабильной частоты, но не способные измерять интервалы времени. Тем не менее, эти

устройства часто называют часами, иногда в кавычках, как в упомянутой выше книге, иногда – нет. Отсюда происходит путаница с терминами.

Для надежной регистрации эффекта ускорения времени на спутниках, вытекающего из ОТО, требуются атомные часы с погрешностью $10^{-12} \div 10^{-11}$. Подчеркнем еще раз, требуются именно часы, состоящие из атомного стандарта частоты и высокоточного счетчика колебаний. Таких часов на спутниках нет.

Когда в научной и научно-популярной литературе говорится о высокоточных измерениях релятивистских эффектов [24] часами на спутниках с точность 10^{-13} и выше, то речь идёт об оптических «часах» - в таких измерениях производится сравнение не показаний часов (счётчика квантовых событий - осцилляций), а отношение частот двух лазеров и сравнение смещения спектральных линий. Т.е. такие измерения связаны с эффектом красного смещения, который, как было указано выше (п.2.4), не является прямым доказательством замедления времени в поле гравитации, предсказываемого ОТО.

При рассмотрении измерений на спутниках GPS следует различать конструкции физических приборов, осуществляющих измерения.

На основе лазера (мазера) есть конструкции трёх типов физических приборов.
Тип № 1. Собственно лазер (мазер) – квантовый генератор частоты – устройство, способное генерировать электромагнитную волну с высокостабильной частотой.
Тип № 2. Лазер (мазер) оснащены делителями частоты. Это устройство способно генерировать электромагнитные волны различной частоты, в том числе, и с частотой 1 герц. То есть, способно выдавать высокостабильный эталон секунды.
Тип № 3. Лазер (мазер), оснащённый делителями частоты и снабжённый счётчиком собственных колебаний. Это устройство способно измерять интервалы собственного времени. Это – полноценные атомные часы.

Необходимо подчеркнуть, что из всех трёх типов приборов полноценными часами являются устройства 3-го типа, так как только они способны не только «тикать», но и измерять интервалы времени. Устройства 1-го и 2-го типа не способны измерять интервалы собственного времени, поэтому это «часы» в кавычках.
На спутниках GPS и ГЛОНАСС есть высокоточные приборы только 1-го и 2-го типов. Там нет высокоточных приборов 3-го типа, позволяющих провести необходимое измерение (см. справочник Яценкова В.С.- [23]).

Как было показано в формуле выше, гравитационный эффект ускорения времени на высоких орбитах спутников согласно общей теории относительности равен:

$$\frac{\Delta\varphi}{c^2} \approx 5\cdot 10^{-10}$$

А релятивистское замедление времени составит:

$$\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \approx \sqrt{1-\frac{4^2}{3^2\cdot 10^{10}}} \approx 1-\frac{1}{2}\cdot\frac{16}{9}\cdot 10^{-10} = 1-\frac{8}{9}\cdot 10^{-10}$$

То есть, этот эффект для спутников GPS примерно в 5 раз меньше.

Квантовые генераторы на спутниках имеют погрешность по частоте примерно 10^{-13}. Гравитационный эффект ускорения времени на высоких орбитах согласно общей теории относительности порядка 10^{-10}. То есть, в тысячу раз больше. Поэтому хорошо известно, что атомные «часы» на спутниках «тикают» быстрее, чем на Земле, в полном соответствии с общей теорией относительности. А именно «атомная секунда», создаваемая квантовым генератором на спутнике короче, чем «атомная секунда», создаваемая точно таким же квантовым генератором на Земле. Поэтому считается как твёрдо установленный экспериментальный факт, что эффект ускорения времени на высоких орбитах и, соответственно, эффект замедления времени вблизи массивных объектов, соответствуют предсказаниям общей теорией относительности.

Но, вопреки общепринятому в науке мнению, мы утверждаем, что частота лазера (мазера) возрастает вблизи массивных тел и понижается на высоких орбитах (спутниках GPS и ГЛОНАСС).

А как же быть с твёрдо установленным фактом, что частота лазера (мазера) повышается на спутниках?

С нашей точки зрения лазер (мазер), расположенный на большой высоте (скажем, наверху высокого здания) имеет частоту ниже, чем точно такой же лазер, находящийся на 1-м этаже здания (см. рис. ниже). Когда электромагнитная волна, генерируемая верхним лазером идёт вниз, её энергия и частота повышаются. Поэтому наблюдатель, находящийся внизу, регистрирует, что частота верхнего лазера (мазера) выше.

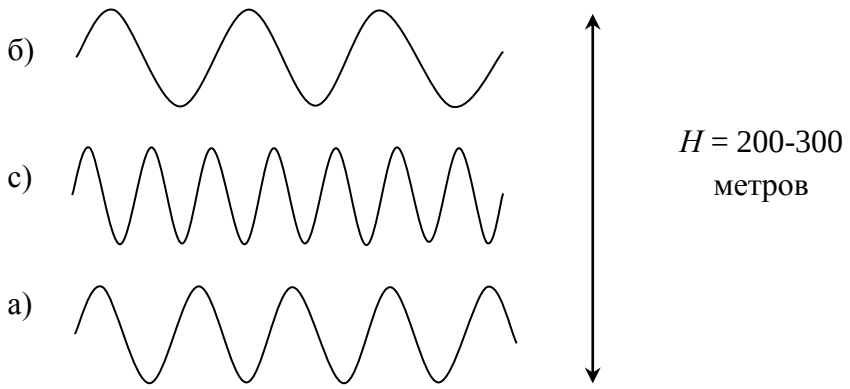


Рис. 4 а) частота электромагнитной волны, генерируемой лазером на поверхности земли. б) частота электромагнитной волны, генерируемой лазером на высоте *H*. с) частота электромагнитной волны, генерируемой верхним лазером, после того, как волна достигнет поверхности земли.

Согласно ОТО, частота электромагнитной волны не изменяется при движении в статическом поле тяжести. Авторы настоящей статьи считают, что изменяется и выдвигают обоснование в своих работах. Мы утверждаем: не проводились эксперименты, доказывающие, что частота волны не изменяется [25, 26, 27].

Только прямое физическое измерение можно считать доказательством хода времени в поле гравитации. Чтобы, в частности, это проверить и предлагается эксперимент «Башня Времени» [25], [26] [28], [29].
Для этого нужно лазеры (мазеры), расположенные на разных высотах, снабдить делителями частоты и счётчиками собственных колебаний. А во время эксперимента сравнивать не только частоты лазеров (мазеров), но и показания их счётчиков. Если частота электромагнитного сигнала действительно не изменяется, как предсказывает общая теория относительности, то показания счётчиков наверху будут расти быстрее, чем внизу и дополнительная скорость их роста будет пропорциональна гравитационному сдвигу частоты.
С нашей точки зрения гравитационный сдвиг частоты будет точно такой же, как в общей теории относительности, то есть наблюдаемая частота верхнего лазера (мазера) будет выше, чем нижнего. Но при этом показания (!) нижнего счётчика будут расти быстрее, чем верхнего.

Сравнивая частоты лазеров, можно сделать вывод, что частота верхнего лазера выше. Но сравнивая показания счетчиков собственных колебаний у верхнего и нижнего лазеров, можно будет убедиться, что частота верхнего лазера все-таки ниже, вопреки предсказаниям общей теории относительности [25, 26, 27].

4. Сообщения в научной литературе о многократных измерениях эффекта замедления времени в поле гравитации (согласно ОТО) с помощью высокоточных атомных часов.

Допустим, что эффект красного смещения нельзя рассматривать как прямое доказательство замедления времени в поле гравитации. Тогда единственным прямым доказательством замедления времени может являться сравнение значений частот излучения атома (по показаниям счётчиков осцилляций) при разных гравитационных потенциалах. В каких экспериментах проводилось такое сравнение?

В научной литературе описан только один эксперимент, в котором проводилось прямое сравнение частот излучения атома (атомных часов) при разных гравитационных потенциалах. Других экспериментов, в которых бы проводилось сравнение показаний атомных часов, по состоянию на 2015 г., не проводилось.

Это знаменитый эксперимент Хафеле-Китинга, который проводился в 1971 г. с атомными часами на самолётах. Детальная критика данного эксперимента изложена [25, 26]. Отметим только, что точность по атомной частоте используемых на самолётах часов была 10^{-11} сек. при ожидаемом эффекте 10^{-12} сек. (предсказываемом ОТО), что нельзя считать удовлетворительным доказательством релятивистского эффекта с позиции экспериментальной физики.

В 2005 году промелькнуло сообщение, что был сделан повторный эксперимент, повторяющий эксперимент Хафеле-Китинга, однако нет ни одной научной публикации, описывающей детали эксперимента и полученные результаты. Это была историческая реконструкция (к годовщине создания ОТО), но не эксперимент с научной постановкой схемы проведения и схемой верификации результата. Повторим – нет ни одной статьи, описывающей результаты измерений.

Пока нет ни одного эксперимента, кроме Хафеле-Китинга, в котором бы проводилось сравнение показаний счётчиков собственных колебаний, а значит нет экспериментальных данных, опровергающих возможность существования обратного эффекта к постулату о

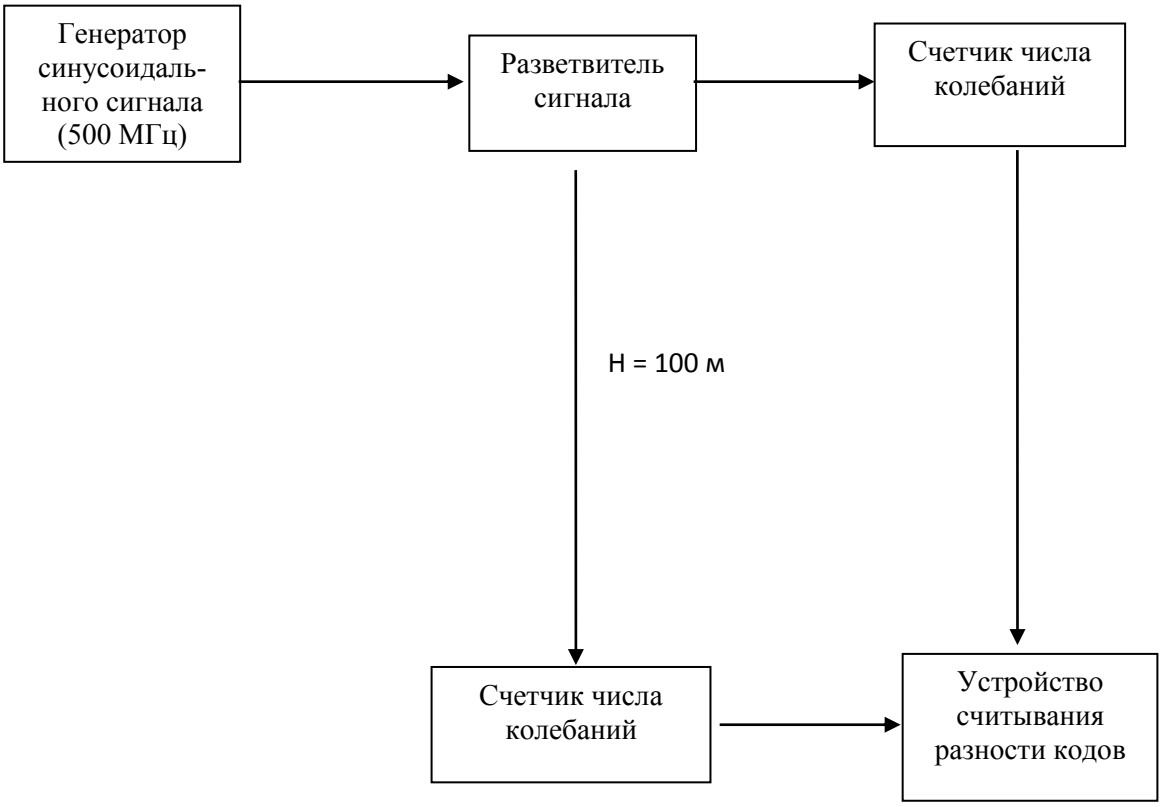
темпоральном процессе общей теории относительности. В работах [25]-[29] рассматривается существование такого эффекта - Эффекта Солошенко-Янчилина.

5. ОТО утверждает, что частота и энергия фотона не изменяются при движении в гравитационном поле.

Как было указано выше, среди экспертов-физиков существуют крупное расхождение относительно того меняется или не меняются частота и энергия фотона при движении в поле тяготения. В ряде работ авторы рассматривают этот вопрос детально, где приводятся цитаты из известнейших монографий и учебников по физике [25]- [28]. Нет ни одного эксперимента, где бы на данный вопрос был дан чёткий ответ.

Позиция авторов – частота и энергия фотона меняются при движении в поле гравитации. Простейший эксперимент позволит подтвердить это.

Рис. 5. Схема эксперимента по доказательству изменения частоты и энергии фотона при движении в поле гравитации



Генератор электромагнитных колебаний (см. рис. 5), расположенный на верхнем этаже здания, генерирует синусоидальные колебания с частотой, например, 500 МГц. Его сигнал разветвляется (стандартным устройством) на два кабеля и поступает на два счетчика числа колебаний, один из которых расположен рядом с генератором, а второй на 100 м ниже на нижнем этаже здания.

Выходные регистры счетчиков соединены по стандартным интерфейсным линиям с устройством вычитания кодов, где отображается текущая разность числа колебаний фиксируемых счетчиками.

Не обязательно передавать коды каждую наносекунду, вполне достаточно делать это, скажем, раз в час. Разность кодов будет изменяться на 1 единицу в сутки и накапливаться с

течением времени – это и будет доказательством изменения частоты и энергии фотона (электромагнитной волны) при движении в поле гравитации. В такой схеме никак не влияет нестабильность частоты исходного источника. Могут повлиять температурные вариации задержки в кабеле, но это единицы пикосекунд.

Авторы утверждают, что, несмотря на простоту схемы, такой эксперимент до сих пор не проводился.

6. Эффект Солошенко-Янчилина

В ряде работ авторы выдвинули и обосновали гипотезу о существовании Эффекта Солошенко-Янчилина. Приведём его краткую формулировку и предложение по экспериментальной проверке.

Эффект Солошенко-Янчилина: частота излучения атома увеличивается в поле гравитации - время ускоряется в поле гравитации в связи с уменьшением значения постоянной Планка вблизи большой массы.

Согласно ОТО Эйнштейна и ряду других теорий гравитации, вблизи большой массы изменяется пространственно-временной масштаб: изменяется продолжительность секунды, создаваемой стандартными атомными часами и эталон метра. Поэтому можно ожидать, что все физические постоянные изменятся в гравитационном поле пропорционально своей размерности. Например, скорость света имеет размерность м/с, поэтому, согласно ОТО, величина скорости света уменьшается в гравитационном поле. Постоянная Планка также должна измениться в гравитационном поле пропорционально своей размерности кг·м^2/с.

Эту проблему можно сформулировать и по-другому. Любую единицу длины или времени можно выразить через фундаментальные единицы длины и времени, составленные из комбинаций основных физических констант c, $\hbar$, m (m – масса электрона). В связи с этим возникает вопрос, как в гравитационном поле должны измениться величины c, $\hbar$, m, чтобы изменение пространственно-временного масштаба соответствовало уравнениям теории гравитации. Именно в таком виде формулирует задачу Ричард Фейнман в своих лекциях по гравитации. Он даже пытается её решить, но безуспешно: у него получается неверный знак.

Тем не менее, авторы нашли следующий подход к решению.

$c^2 = -\Phi$ (1)
$\hbar^2 \Phi = \text{const}$ (2)
$m^2 \Phi = \text{const}$ (3)
Φ – скалярная функция, зависящая от распределения всей материи во Вселенной. На расстоянии r от точечной массы M изменение $\Delta\Phi$ равно:

$\Delta\Phi = -2GM/r$ (4)

G – гравитационная постоянная.

Используя вышеуказанные уравнения (1-4), можно рассчитать, как изменятся вблизи большой массы «метр» и «секунда» и в результате получить выражение для квадрата интервала:

$$ds^2 = \frac{c^2 dt^2}{(1+\frac{2GM}{rc^2})} - (1+\frac{2GM}{rc^2})d\ell^2 \qquad (5)$$

Это уравнение совпадает (с точностью до членов второго порядка малости) с соответствующим уравнением в ОТО. Из него вытекают все известные релятивистские гравитационные эффекты.

Из уравнений (1) и (2) видно, что скорость света в гравитационном поле возрастает, а постоянная Планка – уменьшается. Частота излучения атома обратно пропорциональная величине постоянной Планка в 3-й степени. Например, в атоме водорода при переходе электрона с уровня k на уровень n < k, испускается фотон с частотой ω:

$$\omega = \frac{me^4}{2\hbar^3(1+m/m_{\text{p}})} \cdot (\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2}) \qquad (6)$$

Здесь e – заряд электрона, m_p – масса протона. Поэтому атомные часы (скорость которых пропорциональна атомной частоте) будут идти быстрее вблизи Земли, вопреки ОТО.

Согласно позиции авторов, величина постоянной Планка связана с величиной гравитационного потенциала формулой:

$$\hbar = \frac{e^2}{\alpha\sqrt{-\Phi}} \qquad (7)$$

.

где e – величина заряда электрона, *a* - постоянная тонкой структуры. Заряд электрона и постоянная тонкой структуры не изменяются. Вблизи большой массы величина постоянной Планка уменьшается, возрастает скорость протекания физических процессов.

Согласно гипотезе об Эффекте Солошенко-Янчилина, связь эталонов длины и времени с процессами в атоме (частота колебаний любой спектральной линии, определяющая ход времени, обратно пропорциональна величине постоянной Планка в третьей степени) выражается в том, что вблизи большой массы возрастают частоты излучения атома. Массы покоя элементарных частиц уменьшаются. Эффект Солошенко-Янчилина принципиален для понимания феномена гравитации и в случае своего физического подтверждения является фундаментальной основой для построения квантовой теории гравитации.

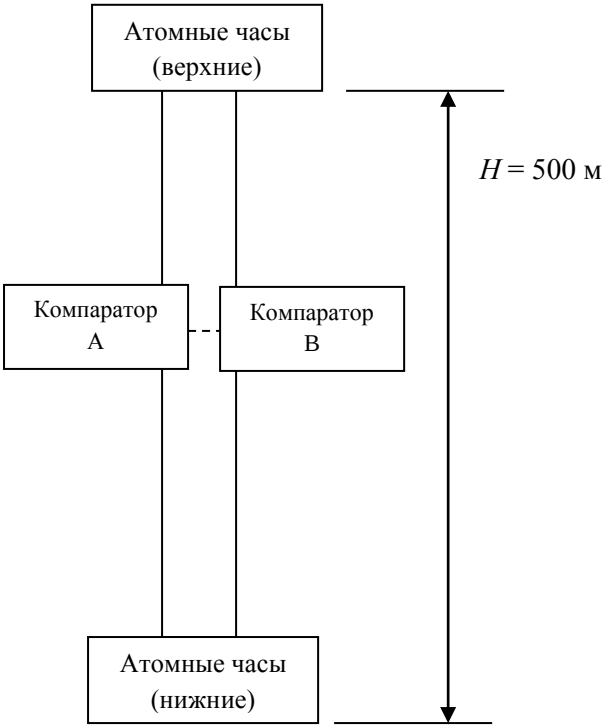
7. Проект экспериментальной проверки хода времени в поле гравитации.

В ряде работ авторы предложили проект физического эксперимента - экспериментальное сравнение значений частоты излучения атома (сравнение по показанию счётчиков осцилляций) при разных гравитационных потенциалах. Результат этого эксперимента позволит дать однозначный ответ в пользу либо замедления времени в поле гравитации (подтвердить постулат о темпоральном процессе ОТО) либо в пользу ускорения времени в поле гравитации (подтвердить существование Эффекта Солошенко-Янчилина).

Суть экспериментальной проверки.

Для проведения эксперимента нужны двое высокоточных атомных часов с погрешностью по частоте 10^{-15} сек. и по показаниям 0,1 наносекунда/сутки. И два компаратора, способных сравнивать часы по частоте и по показаниям. Оборудование устанавливается в высокой башне (небоскрёбе). Цель – фиксация частоты излучения атома на разных высотах. На разных этажах башни (например, 500 м высотой) за 8 месяцев производится измерение в 2 этапа с заменой местами часов.

Рис. 6. Схема эксперимента по проверке хода времени в поле гравитации (проект Башня Времени).



Первые часы размещаются на 1-м этаже высокого здания, вторые – на верхнем, на высоте H = 500 м. Они соединены специальными кабелями с компараторами, которые также расположены на верхнем этаже (их можно расположить и на 1-м этаже, и на среднем). При этом компаратор **A** сравнивает отношение частот двух часов, компаратор **B** сравнивает показания часов.

Стоит отметить, что компаратор **A** будет показывать примерно одну и ту же величину (отношение частот), которая, возможно, будет флуктуировать вблизи некоторого среднего значения. При этом показания компаратора **B** будут в среднем линейно расти со временем из-за накопительного эффекта.

Рассмотрим, что можно ожидать от этого эксперимента. Согласно всем теориям гравитации, включая ОТО, теорию Ньютона и теорию Эффекта Солошенко-Янчилина, существует так называемый гравитационный сдвиг частоты (красное смещение). Поэтому компаратор **A** должен зарегистрировать, что частота нижних часов $f_{нижн}$ ниже, чем верхних $f_{верх}$ на относительную величину:

$$f_{верх}/f_{нижн} - 1 = \frac{gH}{c^2} \qquad (1)$$

Здесь $g \approx 9{,}8$ м/сек – ускорение свободного падения, $c \approx 3\cdot10^8$ м/сек – скорость света. Ожидаемый эффект равен:

$$\frac{gH}{c^2} \approx 5{,}4\cdot10^{-14} \qquad (2)$$

Стоит отметить, что эффект красного смещения (1) многократно проверен с высокой точностью в различных экспериментах, начиная с эксперимента Паунда-Ребке и заканчивая работой различных навигационных систем, в которых этот сдвиг частоты всегда учитывается. Поэтому можно быть уверенным, что компаратор **A** зарегистрирует: частота нижних часов ниже на относительную величину $5{,}4 \cdot 10^{-14}$.

А что покажет компаратор **B**? Этот зависит от того, какая интерпретация красного смещения корректна. Сам по себе эффект красного смещения может состоять из двух эффектов.

1 эффект: изменение собственной частоты атомных часов при их перемещении с верхнего этажа на нижний.

2 эффект: изменение частоты электромагнитного сигнала при его движении снизу вверх.

В сумме оба эффекта должны приводить к экспериментально измеренной величине красного смещения (1).

Согласно ОТО, частота электромагнитного сигнала не изменяется при движении в поле тяжести. Поэтому эффект красного смещения (1) означает, что нижние часы идут медленнее на ту же самую относительную величину:

$$\frac{\Delta T_{верх} - \Delta T_{нижн}}{\Delta T_{верх}} = \frac{gH}{c^2} \tag{3}$$

Следовательно, согласно ОТО, нижние часы будут отставать по сравнению с верхними часами на 4,7 наносекунд за одни сутки. С течением времени эта разница будет накапливаться: за 1 месяц они отстанут на 0,14 микросекунды.

Существует и другая интерпретация красного смещения, сделанная в рамках теории гравитации Ньютона. С этой точки зрения электромагнитная волна (свет), двигаясь вверх, теряет энергию и поэтому её частота понижается. Изменение частоты равно:

$$\frac{gH}{c^2} \tag{4}$$

С этой точки зрения верхние и нижние часы должны идти одинаково, несмотря на то, что компаратор **A** зарегистрирует сдвиг частоты (1). Потому что этот сдвиг вызван исключительно изменением частоты сигнала, пока он движется вверх (4).

И, наконец, 3-я интерпретация красного смещения, согласно Эффекту Солошенко-Янчилина. Частота электромагнитного сигнала, движущегося в поле тяжести, изменяется в 3 раза большую, чем в теории Ньютона на относительную величину:

$$\frac{3gH}{c^2} \tag{5}$$

Дополнительное изменение частоты вызвано изменением постоянной Планка. С этой точки зрения быстрее **будут идти, наоборот, нижние часы** на относительную величину:

$$\frac{\Delta T_{нижн} - \Delta T_{верх}}{\Delta T_{нижн}} = \frac{2gH}{c^2} \tag{6}$$

Когда сигнал от нижних часов будет идти вверх, его частота понизится в соответствии с формулой (5), и только поэтому он достигнет верхнего этажа здания с красным смещением равным (1).

Представим все эти ожидания в виде таблицы:

	ОТО Эйнштейна	Теория Ньютона	Гипотетический Эффект Солошенко-Янчилина
Компаратор **A** (1 сутки): $f_{верх}/f_{нижн} - 1 = \frac{gH}{c^2}$	$5{,}4\cdot10^{-14}$	$5{,}4\cdot10^{-14}$	$5{,}4\cdot10^{-14}$
Компаратор **A** (1 месяц): $f_{верх}/f_{нижн} - 1 = \frac{gH}{c^2}$	$5{,}4\cdot10^{-14}$	$5{,}4\cdot10^{-14}$	$5{,}4\cdot10^{-14}$
Компаратор **A** (1 год): $f_{верх}/f_{нижн} - 1 = \frac{gH}{c^2}$	$5{,}4\cdot10^{-14}$	$5{,}4\cdot10^{-14}$	$5{,}4\cdot10^{-14}$
Компаратор **B** (1 сутки): $\Delta T = 86400$ сек $\Delta T_{верх} - \Delta T_{нижн} =$	$\Delta T \cdot \frac{gH}{c^2}$ $4{,}7\cdot10^{-9}$ сек	0 сек	$-\Delta T \cdot \frac{2gH}{c^2}$ $-9{,}4\cdot10^{-9}$ сек
Компаратор **B** (1 месяц): $\Delta T = 2{,}6\cdot10^{6}$ сек $\Delta T_{верх} - \Delta T_{нижн} =$	$\Delta T \cdot \frac{gH}{c^2}$ $1{,}4\cdot10^{-7}$ сек	0 сек	$-\Delta T \cdot \frac{2gH}{c^2}$ $-2{,}8\cdot10^{-7}$ сек
Компаратор **B** (1 год): $\Delta T = 3{,}1\cdot10^{7}$ сек $\Delta T_{верх} - \Delta T_{нижн} =$	$\Delta T \cdot \frac{gH}{c^2}$ $1{,}7\cdot10^{-6}$ сек	0 сек	$-\Delta T \cdot \frac{2gH}{c^2}$ $-3{,}4\cdot10^{-6}$ сек

Вывод

Таким образом, можно констатировать как факт - на момент подготовки настоящей статьи вопрос о строгом доказательстве постулата о темпоральном процессе ОТО (замедления времени в поле гравитации) остаётся открытым.

На момент подготовки статьи строгого экспериментального доказательства замедления времени в поле гравитации нет. Для однозначного ответа требуется экспериментальное сравнение значений частоты излучения атома (сравнение по показанию счётчиков осцилляций) при разных гравитационных потенциалах - п.7, [25, 26].

Проведение эксперимента по предлагаемой схеме в п.5 покажет, что частота и энергия фотона меняются при движении в поле гравитации. Доказательство изменения частоты и энергии фотона будет несомненным мотивом для проведения экспериментального сравнения значений частоты излучения атома при разных гравитационных потенциалах (п.7).

Список литературы

[1] Киттель Ч., Найт В., Рудерман М. «Берклеевский курс физики» том 1, Механика. Москва: Наука, 1983
[2] Борн М. «Эйнштейновская теория относительности», Москва: Мир, 1972
[3] Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж. «Гравитация» (в трёх томах), Москва: Мир, 1977
[4] Сиама Д. «Физические принципы общей теории относительности», Москва: Мир, 1971
[5] Зельдович Я., Новиков И. «Общая теория относительности и астрофизика» (Эйнштейновский сборник - 1966, Москва: Наука, 1966)
[6] Зельдович Я., Новиков И. «Релятивистская астрофизика», Москва: Наука, 1967

[7] Гинзбург В. «Экспериментальная проверка общей теории относительности» (в сборнике «Эйнштейн и современная физика», Москва: Гостехиздат, 1956, с.107)
[8] Гинзбург В. «О теории относительности», Москва: Наука, 1979
[9] Хокинг С. «Краткая история времени: От большого взрыва до чёрных дыр», Санкт-Петербург: Амфора, 2001
[10] Брагинский В., Полнарёв А. «Удивительная гравитация (или как измеряют кривизну мира)», Москва: Наука, 1985
[11] Эйнштейн А. «К электродинамике движущихся тел»: «О влиянии силы тяжести на распространение света» (Собрание научных трудов, том 1, Москва, Наука, 1965)
[12] Ландау Л., Лифшиц Е. «Теория поля», Москва: Наука, 1988
[13] Фейнман Р., Мориниго Ф., Вагнер У. «Фейнмановские лекции по гравитации», Москва: Янус-К, 2000
[14] Паули В. «Теория относительности», Москва: Наука, 1983
[15] Вейнберг С. «Гравитация и космология. Принципы и приложения общей теории относительности», Волгоград: Платон, 2000
[16] Уилл К. «Теория и эксперимент в гравитационной физике», Москва: Энергоатомиздат, 1985
[17] Окунь Л., Селиванов К., Телегди В. «Гравитация, фотоны, часы», «Успехи физически наук» т.169, № 10, с.1141-1147 (1999)
[18] Okun L., Selivanov K., Telegdi V. Amer. J. Phys. vol.68, p.115-119 (2000)
[19] Okun L. «Photons and static gravity», Modern Physics Letters A, vol. 15, No. 31, p.1941-1947 (2000)
[20] Okun L. “A Thought Experiment with Clocks in Static Gravity”, Modern Physics Letters A, vol. 15, No. 32, 2007-2009 (2000)
[21] Окороков В. «О противоречивости экспериментов, подтверждающих некоторые выводы общей теории относительности», Доклады Академии Наук (Физика) т.378, № 5, с.617-619 (2001)
[22] Дикке Р. “Гравитация и Вселенная”, Москва: Мир, 1972
[23] Справочное издание: Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС. Москва, «Горячая линия – Телеком», 2005
[24] Neil Ashby Relativity in the Global Positioning System. Living Rev. Relativity 6, 1 (2003) http://www.livingreviews.org/lrr-2003-1
[25] Солошенко М.В., Янчилин В.Л. Мир измерений. Квантовые измерения. М.: Стандарты и качество, № 12, (2014). Эл.версия рус. http://www.is-si.ru/esy.pdf; англ. http://www.is-si.ru/atomic-pp.pdf
[26] Soloshenko M.V., Yanchilin V.L. The Effect of Soloshenko-Yanchilin. Gravitation and Time. Scholars' Press, 2015
[27] Янчилин В.Л. Неопределённость, Гравитация, Космос. М.: URSS, 2009
[28] http://www.is-si.ru/time.pdf - описание проекта «Башня Времени», 2012
[29] http://www.is-si.ru/rvsn.pdf - Солошенко М.В. Доклад в Штабе Ракетных Войск Стратегического Назначения РФ «Эффект Солошенко-Янчилина: Возможность физического существования эффекта и аспекты его применения в военных технологиях, в т.ч. для создания принципиально новых систем противоракетной обороны», описание этапа «Башня Времени», июль 2015