

Противоречивость в интерпретации красного смещения и данных измерений гравитационного эффекта посредством спутников системы GPS как доказательства эффекта замедления времени в поле гравитации согласно ОТО.

Солошенко М.В., Янчилин В.Л.

В Общей Теории Относительности Эйнштейна (ОТО) предсказывается, что время замедляется в поле гравитации. Постулат о темпоральном процессе в ОТО означает, что частота излучения атома (а именно частота излучения атома, стандарт атомной частоты считается в современной физике стандартом времени) уменьшается с увеличением абсолютного значения гравитационного потенциала. Как правило, в качестве экспериментальных доказательств, подтверждающих данный постулат, приводятся результаты измерений связанные с эффектом красного смещения, результаты измерений показаний оптических часов (лазеров/мазеров) при разных гравитационных потенциалах. Но можно ли считать эффект красного смещения как прямое доказательство замедления времени в поле гравитации (как предсказывает ОТО)? В статье рассматриваются существующие противоречия в интерпретации физического смысла эффекта красного смещения, а также доказывается, что результаты измерения эффекта красного смещения, в т.ч. данные измерений в системе спутниковой навигации GPS, не являются прямым доказательством релятивистского эффекта замедления времени в поле гравитации. Тем самым показывается возможность физического существования Эффекта Солошенко-Янчилина.

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 А в точку В, 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 В ниже, чем в точке А.

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]. В настоящей статье мы не будем детально рассматривать указанный эффект, а продолжим рассмотрение противоречий в интерпретации эффекта красного смещения современной физикой как эффекта замедления времени в поле гравитации.

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 («Берклевский курс физики» [1,с.442-444]), Макс Борн («Эйнштейновская теория относительности» [2,с.342,343]), Денис Сиам («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 $\sim 1/\Delta t$. 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 из 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.

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. О कोरोков 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. О कोरोков 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.

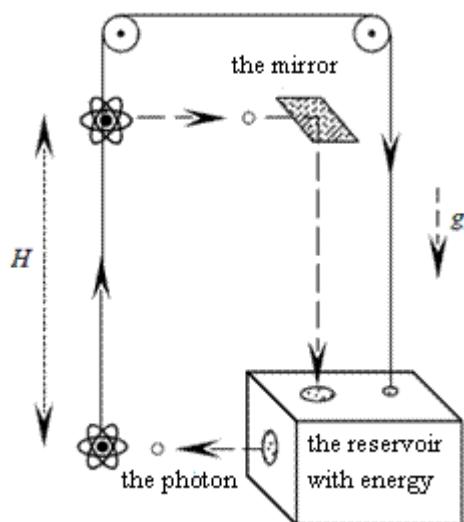
Эксперимент, предложенный авторами Эффекта Солошенко-Янчилина по сравнению показаний по атомной частоте пары высокоточных атомных часов, разнесённых по высоте [25], позволит выяснить изменяется или нет частота фотона (электромагнитной волны), когда он вылетает из гравитационного поля. Однако пока нет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

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

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. Мысленный эксперимент, позволяющий рассчитать величину гравитационного смещения спектральных линий, основываясь только на законе сохранения энергии.



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-Рибки 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 $\Delta \omega$ – 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 $\Delta \omega$ – 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.

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 ли 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 вершине 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.

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.

6. 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 увеличения 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. Увеличение 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⁻¹м³с⁻² – гравитационная постоянная. Подставляя в (6) численные величины, получаем:

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

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

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

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

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

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.

Какой точности измерительное оборудование на спутниках?

Вопреки широко распространенному мнению, на спутниках GPS, ГЛОНАСС и других навигационных систем 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 $2 \div 5 \cdot 10^{-13}$ (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 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.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 приборы только 1-го и 2-го типов. Там нет 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:

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

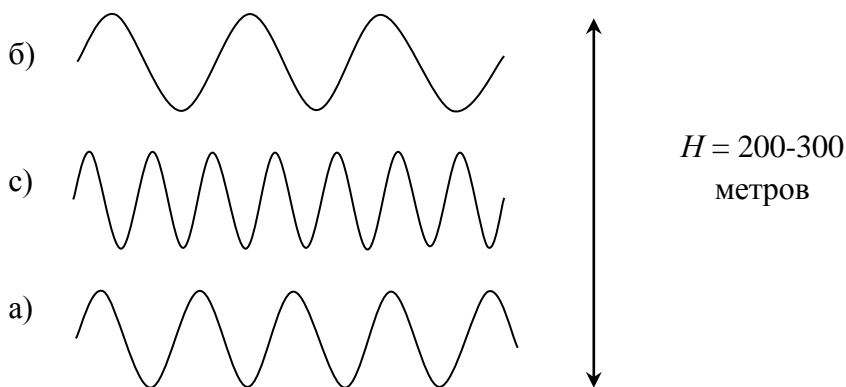
То есть, этот эффект для спутников GPS примерно в 5 раз меньше.

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.



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 нужны 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 счётчиков 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].

7. 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.

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.

Вывод

Таким образом, можно констатировать как факт, что, на момент подготовки настоящей статьи, вопрос об интерпретации эффекта красного смещения как доказательства эффекта замедления времени в поле гравитации открыт.

Измерения на орбитальных спутниках (GPS) нельзя рассматривать как доказательство эффекта замедления времени согласно ОТО, т.к. проводимые измерения связаны с эффектом красного смещения.

Для однозначного ответа требуется экспериментальное сравнение значений частоты излучения атома (сравнение по показанию счётчиков осцилляций) при разных гравитационных потенциалах [25, 26].

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] Сиам 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 I, 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 физических 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] Огороков 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