

## **Почему эксперимент Хафеле-Китинга и эксперимент Паунда и Ребки нельзя считать доказательством гравитационного замедления времени.**

**Солошенко М.В., Янчилин В.Л.**

**В данной статье анализируются два знаменитых эксперимента, эксперимент Хафеле-Китинга (The Hafele-Keating experiment) и эксперимент Паунда и Ребки (The Pound-Rebka experiment), и доказывається, что данные эксперименты не могут, со строгой научной точки зрения, рассматриваться как прямое доказательство гравитационного замедления времени. Ключевая критика к данным экспериментам заключается в том, что в эксперименте Хафеле-Китинга точность атомных часов на самолётах была недостаточна для измерения ожидаемого значения гравитационного замедления времени, как предсказывается в Общей Теории Относительности Эйнштейна, а в эксперименте Паунда и Ребки измерялось не значение времени при разных гравитационных потенциалах, а значение эффекта красного смещения, что не является прямым доказательством гравитационного замедления времени, т.к. эффект красного смещения может быть объяснён с позиции закона сохранения энергии, при этом в ОТО утверждается, что частота и энергия фотона не меняются при движении фотона в условиях разного гравитационного потенциала.**

*Рассмотрим два известнейших в науке эксперимента, которые считаются научным сообществом доказательством факта существования гравитационного замедления времени, согласно Общей Теории Относительности Эйнштейна – эксперимент Хафеле-Китинга и эксперимент Паунда и Ребки.*

Эксперимент Хафеле-Китинга является единственным на сегодняшний день экспериментом, т.е. по состоянию на 2018 год, в котором проводилась непосредственная сверка показаний атомных часов при разных гравитационных потенциалах.

Напомним, что в современной физике в качестве эталона времени принята атомная секунда, равная количеству периодов излучения, соответствующих энергетическому переходу между двумя уровнями сверхтонкой структуры основного состояния атома (цезия-133). А значит строгим научным доказательством гравитационного замедления времени (или обратного эффекта – Эффекта Солошенко-Янчилина) может считаться только прямое сравнение показаний атомных часов, фиксирующих накопленное значение по эталону времени (общую сумму атомных секунд зафиксированную с начала отсчёта) при разных гравитационных потенциалах. Это следует особо выделить, т.к. многие полагают, что сравнительное измерение значений показания времени атомных часов (atomic clock) и измерение на основе оптических атомных часов (optical atomic clock), в которых сравниваются значение частот лазеров/мазеров, эквивалентны по сути, хотя это совершенно не так. В оптических атомных часах измерения связаны с эффектом красного смещения, который не является прямым доказательством замедления времени в поле гравитации, предсказываемого ОТО, что будет подробнее рассмотрено при рассмотрении эксперимента Паунда и Ребки. Поэтому результаты таких экспериментов как C. W. Chou / C. W. Chou et al. Science 329, 1630 (2010), Optical Clocks and Relativity/ и подобных работ нельзя рассматривать в качестве верности постулата Эйнштейна о темпоральном процессе (т.е. гравитационного замедления времени), т.к. они основаны на сравнительном измерении эффекта красного смещения.

Итак, эксперимент Хафеле-Китинга, его суть – сравнение показаний атомных часов на самолётах с показаниями атомных часов на земле. Это единственный эксперимент, результаты сравнительного измерения времени в котором описаны в научной статье в реферируемом издании (J. Hafele, R. Keating. Science 177, 168 (1972), «Around the world atomic clocks: predicted relativistic time gains»). Эксперимент проводился в рамках исследовательской программы DOD Пентагона, атомные часы были предоставлены поставщиком оборудования Hewlett-Packard, заинтересованным в государственном заказе США на измерительное оборудование.

Измеренная разница показаний часов на земле и на самолётах складывалась из гравитационного эффекта и кинематического. Как мы сейчас покажем ниже, погрешность этого эксперимента превышала предсказываемое ОТО значение эффекта гравитационного замедления времени. Более того, что крайне важно, сами учёные исследователи (Хафеле и Китинг) и эксперты DOD Пентагона были в курсе этого (это следует из опубликованного протокола интервью г-на Хафеле и экспертов DOD), однако статья всё же была опубликована в Science как доказательство гравитационного замедления времени, без указания принципиальных деталей эксперимента, что говорит о целенаправленном введении в заблуждение широкой научной общественности (со стороны DOD), в первую очередь физической науки потенциального противника (СССР).

Эксперимент с атомными часами, эксперимент Хафеле-Китинга, в котором сравниваются их показания (накопительный эффект), принципиально отличается от эксперимента с часами, в котором сравниваются их скорости хода. Результаты эксперимента Хафеле-Китинга, с точки зрения научной чистоты и достоверности, не могут рассматриваться как регистрация факта замедления времени в поле тяготения по нижеследующим причинам.

1). Эффект, который Хафеле и Китингу нужно было измерить, был порядка  $10^{-12}$ , а точность имеющихся у них часов, согласно техническому паспорту модели HP 5061 A выпуска 1971 года, только  $\pm 1 \times 10^{-11}$ . Именно такая точность указана в техническом паспорте данной модели. Повторяем, речь о точности измерения хода часов, а не точности измерения частотного сигнала. То есть точность измерения атомного времени была в 10 раз ниже ожидаемого эффекта! Дело в том, что атомные часы имеют два уровня точности – accuracy и stability. В статье в Science был указан уровень точности по stability. Но это уровень стабильности по частоте. Самая высокая точность этих часов (стабильность по частоте)  $\pm 7 \times 10^{-13}$ . Даже это значение чуть-чуть выше ожидаемого эффекта. То есть они могли бы провести эксперимент по сравнению частот часов (эффект красного смещения) и то на грани обнаружения эффекта при условии, что часы не летали бы на самолете, а неподвижно висели бы на высоте 10 км. А речь о сравнении показаний часов, для чего точность явно не дотягивала до необходимого уровня.

2). Вместо того, чтобы выделить эффект в чистом виде, они добавили к нему много других эффектов: кинематический, а также многочисленные помехи, вызванные транспортировкой часов на самолете. Хафеле и Китинг не раскрыли механики очистки данных от помех, которые, по признанию самих исследователей на встрече с научными экспертами Пентагона (Hafele J.C. «Performance and results of portable clocks in aircraft», 1971, USNO, DOD Strategic planning meeting), имели место.

3). Синхронизация высокоточных часов – это сложная и дорогостоящая техническая процедура. Хафеле и Китинг не объяснили, как они синхронизировали часы и как конкретно сравнивали показания часов. То есть отсутствует (не раскрыт) принципиальный элемент схемы эксперимента, а ведь это крайне критический параметр для точности, валидности результатов, учитывая технические характеристики часов. Ни в одной публикации по данному эксперименту данный вопрос подробно не рассмотрен. Почему? Ответ очевидный – в 1971 году высокоточного компаратора, обеспечивающего синхронизацию для проведения эксперимента с часами на самолётах, технически не существовало.

4). Хафеле и Китинг не провели ни одного контрольного опыта. Более того, сообщения об имевших место повторных экспериментах, проводимых по схеме Хафеле-Китинга, не получили раскрытия ни в одной научной публикации серьёзного физического издания (нет конкретных результатов измерений) – нет указаний и детализации объекта сравнения, а по заявленным косвенным признакам если и проводился эксперимент – то по сравнению частот (красное смещение), а не показаний часов.

5). На самолете летало несколько часов. Это, по мнению Хафеле и Китинга, должно было повысить их точность. Это неверное предположение. Ведь на земле оставались только одни часы, и погрешность у них – 1 микросекунда в сутки. Как при этом Хафеле и Китинг смогли получить точность в 10 наносекунд за 60 и 80 часов?! Ответ очевиден если подогнать результат к расчетному. Согласно ОТО, на высоте  $H$  над земной поверхностью атомные часы должны идти быстрее на относительную величину:

$\frac{gH}{c^2}$ . Здесь  $g \approx 9,8 \text{ м/сек}^2$  – ускорение свободного падения,  $c \approx 3 \times 10^8 \text{ м/сек}$  – скорость света. В эксперименте Хафеле-Китинга самолет летал на высоте  $H \approx 9 \cdot 10^3 \text{ м}$ . Таким образом, ожидаемый гравитационный эффект составил:

$$\frac{gH}{c^2} \approx 9,8 \cdot 9 \cdot 10^3 / 9 \cdot 10^{16} \approx 10^{-12} \quad (1)$$

Согласно Специальной Теории Относительности, движущиеся атомные часы должны идти медленнее в  $\gamma$  раз. Где  $\gamma$  так называемый Лоренц-фактор:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \quad (2)$$

Здесь  $V$  – скорость атомных часов относительно инерциальной системы отсчета. В данном эксперименте – это скорость самолета относительно центра Земли. Для скоростей много меньше скорости света получаем:

$$\gamma = 1 + \frac{V^2}{2c^2} \quad (3)$$

И, следовательно, относительное изменение скорости времени равно:

$$\frac{V^2}{2c^2} \quad (4)$$

Самолеты летали в среднем на широте  $31^\circ$  и  $34^\circ$ , где линейная скорость вращения Земли составляет, примерно, 400 м/сек. Средние скорости самолетов были 243 м/сек (в западном направлении) и 218 м/сек (в восточном направлении). Соответственно, средние скорости самолетов относительно центра Земли составляли 157 м/сек (западное направление) и 618 м/сек (восточное направление). Скорость атомных часов, которые покоились относительно земли, составляла примерно 400 м/сек.

Оценим ожидаемые эффекты (согласно ОТО) и сравним их с точностью атомных часов, которые участвовали в эксперименте. Подставив 600 м/сек в уравнение (4), получаем  $2 \times 10^{-12}$ . На такую относительную величину замедлится время относительно центра земли на самолете, движущемся в восточном направлении. Подставив 400 м/сек, найдем относительное замедление для покоящихся часов:  $0,9 \times 10^{-12}$ . Таким образом, замедление времени на восточном самолете относительно покоящихся часов составит  $1,1 \times 10^{-12}$ . То есть, эффект того же порядка, что и гравитационный (1).

6). Как следует из технических характеристик атомных часов (п.1), используемых в эксперименте, их точность по измерению атомного времени равна:  $\pm 1 \times 10^{-11}$ . В десять раз ниже ожидаемого эффекта. А ведь нужно не просто измерить величину порядка  $10^{-12}$ , нужно измерить разность между двумя величинами, каждая из которых порядка  $10^{-12}$ . Перейдем от безразмерных величин к размерным величинам. В сутках около  $10^5$  секунд. Часы с точностью  $\pm 1 \times 10^{-11}$ , соответственно, будут ошибаться примерно на 1 микросекунду за сутки. А каждый ожидаемый эффект (гравитационный и кинематический) составляет порядка 100 наносекунд. При этом нужно измерить разницу между гравитационным и кинематическим эффектами, которая имеет порядок, возможно, 10 наносекунд. И эту разницу, чтобы ее надежно зарегистрировать, нужно измерить с точность 1-2 наносекунды. Для этого нужны часы точнее, чем были в эксперименте примерно в 1000 раз. Но и этого недостаточно. Ведь точность часов  $\pm 1 \times 10^{-11}$  относится к лабораторным условиям. Полет на самолете заметно понизит ее из-за различных ускорений, вибраций, электромагнитных полей и других факторов.

Сама по себе идея поставить точные часы на самолет – плохая. Не случайно за 40 лет никто больше не пытался проводить подобный эксперимент. Даже сейчас, когда точность атомных часов возросла в 1000 раз, проводить подобный эксперимент нецелесообразно. Нужен эксперимент с современными высокоточными атомными часами в стационарных условиях на разных этажах высотного здания со специальной синхронизацией по схеме предложенной авторами (Солошенко М.В. и Янчилиным В.Л. – проект Башня Времени, The Time Tower project – [www.zero-gravity-systems.com](http://www.zero-gravity-systems.com)). Тем не менее, Хафеле и Китинг провели этот невероятно сложный с точки зрения техники того времени эксперимент 40 лет назад. Сам г-н Хафеле в интервью высказал сожаление, что точность часов было бы желательно повысить как минимум в 10 раз (но на тот момент мобильных и пригодных для эксперимента часов с такой точностью просто не существовало). Как же они смогли «повысить» точность часов (что они использовали в качестве основания считать данные валидными)? Очень просто: поместив их на 40 дней на лабораторный стенд и взяв среднее значение «разброса» измерений в стационарных условиях. А разве таким способом можно заметно повысить точность часов? Нет, нельзя. Чтобы повысить точность атомных часов в 10 раз ученым и инженерам всего мира потребовалось 10 лет упорного труда. Но Хафеле и Китинг приводят результат, который, на их взгляд, свидетельствуют, что точность их часов возросла в десятки, если не в сотни раз. Как подобное могло иметь место? Не обвиняя никого, обратим внимание, что 1971 г. – это период холодной войны. Если один из конкурентов не может сделать прорыв в исследованиях гравитации, он будет стараться затормозить работы у своего противника, чтобы противник не смог сделать научный прорыв. Если объявить о том, что время замедляется в поле гравитации – противник не будет это проверять и примет это на веру (так, как написано в уважаемом журнале). К тому же, Пентагон в тот период был заинтересован в поставках атомных часов для систем навигации, и НР был лишь одним из производителей-конкурентов. Чтобы получить контракт, был проведён эксперимент, который стал отличной рекламой для НР и возможности военных контрактов. Наука СССР, ознакомившись с результатом, приняла всё на веру и остановила все исследования. Раз написано в авторитетном издании Science, что экспериментаторы Хафеле-Китинг определили, что время замедляется, то и проверять не нужно. Тем более, заявление о том, что время замедляется в поле гравитации соответствует ОТО. С тех пор вопрос о проверке постулата ОТО о темпоральном процессе, прямом сравнении показаний часов, в России и на Западе был закрыт.

Вернёмся к результату эксперимента Хафеле-Китинга, что они измеряли? Вот часы простояли 40 дней на лабораторном стенде. Как они их сравнивали: сверяли показания часов через определенное время или измеряли отношение частот? Проще, конечно, измерять отношение частот. Но в таком случае это будет эксперимент типа Паунда-Ребки, о котором речь пойдёт ниже. Может быть, все-таки они сравнивали показания часов? Тогда как - по какой конкретно схеме и каким оборудованием (какой компаратор использовался в 1971 году – ведь оборудование для сравнения также имеет погрешность измерения, а в те годы высокоточной техники синхронизации не было)? В их статьях не содержится серьёзных деталей по данному вопросу – но указано, что на стенде, до полётов, все часы шли в разнобой с разным отклонением (т.е. не было синхронизации).

Единственный довод, который приводят Хафеле и Китинг, это то, что на самолете летело 4 часов, и, следовательно, их точность была выше, чем у одних часов. Насколько выше? И как это проверить? Даже если бы на самолете летела тысяча часов, это не повысило бы точности эксперимента. На земле то оставались только одни часы, как эталон для сравнения. А эти часы сами давали ошибку. Погрешность эксперимента определяется самым слабым его звеном - она была очевидна уже на стационарном стенде в лаборатории. И на каком основании, при вычислении среднего значения отклонений, из «результата» эксперимента исследователями были выброшены данные замеров и часов, которые показывали обратный эффект (что время ускоряется в поле гравитации)? Из протокола совещания учёных и комиссии DOD Пентагона (Hafele J.C. «Performance and results of portable clocks in aircraft », 1971, USNO, DOD Strategic planning meeting) очевидно, что массив данных, свидетельствующих о возможности обратного эффекта, был значителен, но его исключили.

Что касается научной значимости, то ее в этом эксперименте нет. Наука подразумевает повторяемость получаемого результата. А что у Хафеле-Китинга? Они ни разу не проводили повторных (контрольных) опытов. Например, до полёта на самолетах часы проработали на лабораторном стенде. На основании этого Хафеле и Китинг сделали вывод, что точность их часов выше заявленной в техническом паспорте. Отлично. Сделайте на основании ваших выводов определенные предсказания и проведите контрольный эксперимент, чтобы это проверить. Не было сделано. Поместили часы на самолет. Проведите контрольный эксперимент, который показал бы, как тряска, вибрации, ускорения влияют на точность хода часов. Не было сделано. Ни разу никаких контрольных экспериментов Хафеле и Китинг не проводили. У них был ожидаемый гравитационный эффект изменения скорости времени. Он порядка  $10^{-12}$  (согласно ОТО). И были часы, погрешность которых равна  $\pm 1 \times 10^{-11}$ . Измерить точно гравитационный эффект с помощью таких часов – огромная проблема. Но Хафеле и Китинг зачем-то усугубляют проблему. Они решают добавить к гравитационному эффекту кинематический и измеряют сразу оба эффекта. Ведь если экспериментатор хочет измерить эффект, он старается проводить эксперимент так, чтобы выделить ожидаемый эффект в чистом виде. Если вы хотите измерить гравитационный эффект, поместите точные часы на разных высотах (неподвижных) и наблюдайте за ними: месяц, год, 10 лет. Зачем было помещать часы на самолет, который двадцать раз взлетал и садился, изменял скорость и высоту, подвергая часы ускорениям, вибрациям, тряске, воздействию электромагнитных полей и т.д. Какую цель преследовали Хафеле и Китинг? Можно предположить, что первичной задачей было измерение кинематического эффекта, а побочной – гравитационного. И, получив результат по кинематическому эффекту (как предсказывалось ОТО), результат по гравитационному эффекту подгонялся под теорию ОТО (из калькуляции значений исключались показания, говорящие об ускорении времени в поле тяготения). До эксперимента Хафеле-Китинга величина кинематического эффекта и гравитационного эффекта смещения спектральных линий были измерены с гораздо более высокой точностью. С доминированием ОТО мало кто из ученых сомневался в том, что время на движущихся часах идет медленнее. И все знали, что есть эффект гравитационного смещения спектральных линий. Например, в эксперименте Паунда и Ребки он был измерен с хорошей точностью. Да и до этого, в эффекте красного смещения никто не сомневался, так как гравитационное смещение спектральных линий вытекает из закона сохранения энергии. Поэтому Хафеле и Китинг ничего нового своим экспериментом сказать научному миру не могли – эксперимент подтверждал уже господствующую в то время точку зрения ОТО. Они не сделали открытие. С другой стороны, их эксперимент стал классикой для популяризации ОТО. И действительно, об этом эксперименте до сих пор помнят, у него громадная цитируемость. Если наш читатель не согласен с данными вопросами – пусть на цифрах (как это делаем мы) покажет, как Хафеле и Китинг получили свои данные и докажет, что результат эксперимента – это факт замедления времени в поле тяготения.

Таким образом, авторы утверждают, что результат эксперимента Хафеле-Китинга нельзя считать валидным научным фактом, доказывающим, что время замедляется в поле гравитации. Иными словами, нет факта прямого сравнения показаний атомных часов, однозначно свидетельствующего в пользу гравитационного замедления времени. Исследователи Солошенко М.В. и Янчилин В.Л. предсказывают, что время ускоряется в поле гравитации и что при прямом сравнении показаний современных высокоточных атомных часов будет зарегистрирован экспериментально эффект гравитационного ускорения времени и, тем самым, будет подтверждена гипотеза о существовании Эффекта Солошенко-Янчилина (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. [www.is-si.ru/timerate.pdf](http://www.is-si.ru/timerate.pdf), [www.is-si.ru/esy.pdf](http://www.is-si.ru/esy.pdf)). 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 (т.е. опровергающих возможность Эффекта Солошенко-Янчилина). За предъявление научной публикации любой научной команды, содержащей сравнительные данные измерений частоты излучения атома при разных гравитационных потенциалах, доказывающие факт гравитационного замедления времени (согласно

ОТО), действует самый крупный в России научный приз (в сто тысяч долларов США), который будет выплачен Институтом Специальных Исследований любому лицу, при предъявлении статьи данным лицом ([www.is-si.ru/congress2016.pdf](http://www.is-si.ru/congress2016.pdf) <https://youtu.be/hEnIFUebOIQ>). Любой желающий может испытать свои силы в получении приза, конкурс согласован Институтом Специальных Исследований с Российской Академией Наук с 2014 года и всё ещё действует.

Теперь, прежде чем перейти к рассмотрению эксперимента Паунда и Ребки, зададим вопрос - отличается ли по своей сути эксперимент Хафеле-Китинга, в котором сравнивались показания атомных часов (накопительный эффект), от экспериментов по измерению красного смещения? Мы говорим, что да, отличается. Многие представители научной общественности станут настаивать, что нет, не отличаются. Поэтому, мы сразу отметим, что даже сам г-н Хафеле, в своём интервью, чётко обозначил, что измерение красного смещения не эквивалентно измерению излучения атома (Hafele J.C. «Performance and results of portable clocks in aircraft », 1971, USNO).

DR. HAFELE: I wonder if I could respond to Professor Alley's comment. He said that the special theory had been thoroughly proved by all kinds of experiments. Well, I think that in the same respect there's never been an experiment done by anybody on either the special or the general theory of relativity which disproves either one. The general theory just makes some interesting predictions that you can't test. Does a clock on the ceiling run slower than a clock on the floor? We don't know for sure, but it looks as though when you send gamma rays up from a radioactive nucleus, they are absorbed only if you doppler shift the upper nucleus. Does that prove that a clock on the ceiling runs slower than a clock on the floor? Many people will say "yes, it has to, and there's no point in doing the experiment." But then there are a lot of people who don't buy that argument. So the special theory has been tested in the same way that the general theory has been tested so far.

...

DR. RUEGER: There was, I think, an experiment done with crystal clocks in eccentric orbits. If you massage the data rather exhaustively, they could show there was indeed an influence on what we call the gravitational redshift which at the surface of the earth is in the order of two parts in ten of the thirteen per kilometer. This is an effect of the difference of gravitational potential.

DR. HAFELE: You're talking about frequency now, though; I'm talking about time. That experiment was done with frequency on a crystal oscillator in a satellite.

Мы приводим прямую цитату самого Хафеле, т.к. многие научные эксперты не понимают разницы и считают эффект красного смещения эквивалентным гравитационному замедлению времени.

Отметим, что у Ньютона время носило абсолютный характер. По Ньютону абсолютное время существует и длится равномерно само по себе, безотносительно к каким-либо событиям, в т.ч. безотносительно к изменению гравитационного потенциала. В противопоставлении к модели Ньютона, Эйнштейн выдвинул идею, что время может изменять свой ход, при определённой величине гравитационного потенциала, из-за искривления четырёхмерного континуума. Принципиальным является то, что взгляды Ньютона и Эйнштейна на связь времени и гравитации не дополняют друг друга, а находятся в оппозиции друг к другу. Очень часто, в монографиях и учебниках по физике, модели Ньютона и Эйнштейна рассматриваются как дополняющие друг друга, хотя это совершенно не так – они исключают друг друга.

Интерпретация Ньютона: эффект красного смещения имеет объяснение в рамках закона сохранения энергии. Фотон теряет энергию, преодолевая силу тяготения. Изменяется его частота и энергия, что влечёт смещение спектральных линий.

Интерпретация Эйнштейна: энергия и частота фотона не изменяются при движении фотона в гравитационном поле. Время замедляется в поле гравитации – это влечёт смещение спектральных линий.

Особо отметим, что нет ни одного экспериментального доказательства, что частота и энергия фотона не изменяются при движении фотона в поле гравитации (от области с одним гравитационным потенциалом в область с другим гравитационным потенциалом). При этом есть целый ряд косвенных доказательств (физических феноменов), говорящих в пользу возможности их изменения.

*Теперь рассмотрим суть эксперимента Паунда и Ребки и покажем, почему интерпретация полученных результатов измерений в пользу доказательства гравитационного замедления времени ОТО Эйнштейна ошибочна.*

Широкой научной общественностью считается, что эксперимент Паунда и Ребки (1959-1960 г.) являет собой классический пример подтверждения замедления хода времени в поле тяготения, т.к. Паунд и Ребка получили экспериментальное подтверждение существования гравитационного красного смещения. (Pound R. V., Rebka Jr. G. A. (November 1, 1959). «Gravitational Red-Shift in Nuclear Resonance». *Physical Review Letters* 3 (9): 439—441; Pound R. V., Rebka Jr. G. A. (April 1, 1960). «Apparent weight of photons». *Physical Review Letters* 4 (7): 337—341).

Эксперимент был проведён сотрудником Гарвардского университета Робертом Паундом и его аспирантом Гленом Ребкой в лабораторном контролируемом эксперименте в башне. Считается, что полученное значение в пределах ошибок эксперимента (10 %) подтвердило принцип эквивалентности и основанную на нём Общую Теорию Относительности. Позже (в 1964 году) в подобном эксперименте Паунд и Снайдер получили совпадение измеренного и теоретического значений с точностью около 1 %. В 1980 году точность проверки релятивистских предсказаний гравитационного красного смещения была улучшена до 0,007 % в экспериментах Gravity Probe A с водородным мазером в космосе.

Для определения разности темпа хода времени в разнесённых по высоте точках Паунд и Ребка использовали измерения частоты фотонов в двух точках вдоль их траектории: в точке испускания и в точке поглощения. По ОТО, разность в измеренной частоте в верхней и нижней точках указывает на разность хода времени в этих точках. Гамма-квант с энергией 14,4 кэВ, испускаемый возбуждённым ядром Fe-57 в переходе на основное состояние, проходил расстояние  $h = 22,5$  м по вертикали в поле тяготения Земли и резонансно поглощался мишенью из того же материала. При точном совпадении частот фотона в точке испускания и поглощения и отсутствии отдачи испускающего и поглощающего ядер вероятность поглощения максимальна (источник и поглотитель настроены в резонанс). При расхождении частоты фотона и поглотителя вероятность поглощения уменьшается, в зависимости от разности частот и «остроты» резонанса (то есть ширины линии поглощения).

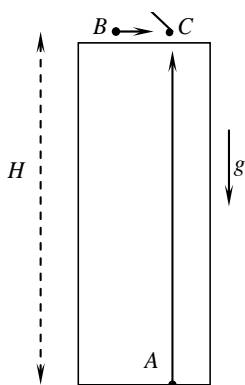
Эта схема эквивалентна радиопередатчику и радиоприёмнику, настроенным на одну частоту. Согласно ОТО, когда приёмник переносится вниз, в точку с большим гравитационным потенциалом, частота, на которую он настроен, уменьшается с точки зрения наблюдателя, оставшегося возле передатчика, как замедляются и любые другие процессы, и в результате приёмник и передатчик выходят из резонанса — электромагнитное излучение передатчика перестаёт поглощаться приёмником. Однако, эффект в слабом гравитационном поле Земли очень мал, поэтому его обнаружение наталкивается на существенные экспериментальные трудности. В первую очередь, даже при излучении и поглощении в одной точке (т.е. даже в отсутствие гравитационного красного смещения) будет наблюдаться существенный доплеровский сдвиг частот между излучающим и поглощающим атомами ввиду того, что оба атома

получают импульс отдачи от фотона. Этот доплеровский сдвиг отдачи для одиночного атома Fe-57 на пять порядков больше ожидаемого эффекта. Поэтому в эксперименте применялся эффект Мёссбауэра, который обеспечивает поглощение импульса отдачи при испускании и поглощении фотона не отдельным ядром атома, а всем кристаллом (точнее, его макроскопической частью), так что энергия фотона при излучении практически не тратится на отдачу.

Несмотря на то, что сам эксперимент Паунда и Ребки имел большую погрешность, этот эксперимент и его последовавшие аналоги (с существенно большим уровнем точности) рассматриваются большинством сторонников ОТО как блестящее подтверждение эффекта гравитационного замедления времени ОТО.

Но, основной вопрос не к уровню точности, а к схеме эксперимента. Важно то, что в эксперименте Паунда и Ребки не проводилось сравнение показаний атомных часов! Т.е. сначала утверждается, что частота и энергия фотона не меняются при движении фотона в поле тяготения (ОТО). Затем регистрируется гравитационное красное смещение (факт эксперимента). И этим результатом «доказывается» гравитационное замедление времени! Т.е. эксперимент Паунда и Ребки нельзя считать доказательством гравитационного замедления времени.

В гравитационной физике есть хорошо известный и многократно проверенный так называемый эффект красного смещения. Вот его суть. Пусть у нас есть два одинаковых высокостабильных лазера с частотой  $\omega$ . Первый находится в точке  $A$  у основания башни (ее высота  $H$ ), второй – на ее вершине, в точке  $B$ .



Наблюдатель в точке  $C$  на вершине регистрирует, что частота лазера  $A$  изменилась на относительную величину  $\Delta\omega$ .

$$\frac{\Delta\omega}{\omega} = -\frac{\Delta\varphi}{c^2} < 0$$

Здесь  $\Delta\varphi = gH$  – разность гравитационных потенциалов ( $g \approx 10 \text{ м/сек}^2$  – ускорение свободного падения),  $c$  – скорость света. То есть, наблюдатель регистрирует, что излучение нижнего лазера смещено в красную сторону спектра. Это – экспериментальный факт. Вправе ли мы сделать вывод, что частота лазера в точке  $A$  ниже, чем у лазера в точке  $B$ ? Нет, такой вывод делать нельзя.

Ведь пока свет от нижнего лазера движется вверх, он теряет энергию на преодоление гравитационного притяжения и его частота понижается. Если бы свет, двигаясь вверх, не терял энергию, а вместе с ней и частоту, то мы могли бы сделать вывод, что частота лазера в точке  $A$  ниже чем у аналогичного лазера в точке  $B$ .

Таким образом, эффект красного смещения состоит из двух эффектов. 1-й эффект: изменение внутренней частоты лазера при его перемещении из точки  $B$  в точку  $A$ . 2-й эффект: изменение частоты лазерного излучения при его движении из точки  $A$  в точку  $C$ . Итак, два идентичных лазера находятся на



одной высоте и имеют одинаковую частоту. Первый опускают вниз, и его частота изменяется на относительную величину  $X$ . Затем свет от него движется вверх ко второму лазеру. При этом его частота изменяется на относительную величину  $Y$ . Экспериментатор сравнивает частоту сигнала, пришедшего от нижнего лазера, с частотой, генерируемой верхним, и обнаруживает:

$$X + Y = \frac{\Delta\omega}{\omega} = \frac{\Delta\varphi}{c^2} < 0$$

В результате мы имеем одно уравнение с двумя неизвестными. Мы знаем, чему равна сумма  $X + Y$ , но не знаем, чему они равны по отдельности. Мы видим, что частота нижнего лазера ниже. Но мы видим эту частоту уже после того, как свет лазера, преодолев гравитационное притяжение, достиг точки  $C$ .

В ОТО предполагается, что когда свет движется в гравитационном поле (неважно, вниз или вверх) его частота и энергия не изменяются. Поэтому согласно ОТО:  $Y = 0$  и, следовательно,  $X < 0$ . С точки зрения этой теории красное смещение нижнего лазера означает, что атомная частота понижается вблизи большой массы. Так как скорость хода атомных часов определяется частотой лазера (мазера), то эффект красного смещения трактуется в ОТО как замедление времени (замедление скорости хода атомных часов). Поэтому в ОТО ставится знак равенства между красным смещением и замедлением времени. Поэтому, когда специалист по ОТО говорит о замедлении времени, он имеет ввиду эффект красного смещения и наоборот. Самое слабое место здесь – предположение, что энергия и частота фотона не изменяются при движении в гравитационном поле. Фотон не имеет массы покоя, но имеет энергию, а, значит, инертную и гравитационную массу. Поэтому он взаимодействует с гравитационным полем. Например, проходя вблизи Солнца, фотон отклоняется и его импульс при этом изменяется. Следовательно, он передает часть своего импульса Солнцу.

Существует ряд аргументов в рамках ОТО в пользу того, что время замедляется вблизи большой массы. Существует ряд противоположных аргументов. Главное – нет экспериментального решения этого вопроса. Известна только сумма  $X + Y$ , но неизвестно, чему равны эти величины по отдельности. Есть один прямой способ измерения  $X$ . Надо снабдить оба лазера (верхний и нижний) счетчиками колебаний, измеряющими периодичность излучений (атомными часами) и подождать длительное время (несколько месяцев). Затем сравнить показания счетчиков. Показания будут выше у того лазера, у которого выше частота. Итак, чтобы узнать, что истинно – гравитационное замедление времени или обратный эффект (гравитационное ускорение времени), нужно взять двое идентичных атомных часов, установить их на разных высотах и понаблюдать за их показаниями в течение длительного времени, используя накопительный эффект. Узнав чему равен  $X$ , мы также найдем и  $Y$  из уравнения (2), то есть узнаем, как влияет гравитация на частоту и энергию движущегося фотона. Наша научная команда предсказывает существование Эффекта Солошенко-Янчилина.