

ОБ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭФФЕКТОВ ЗАМЕДЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ

The gravitational and kinematic relativistic effects in experiments with time dilation are analyzed. It is shown that the results of experiments do not correspond to the postulate of relativity. This effects do exists objectively independent of observers and can be calculated on the base of a simple model in the absolute coordinate system.

Со времен Ньютона на протяжении 200 лет в физике господствовали классические представления об абсолютном пространстве и времени. К началу XX в. классическую механику потребовалось пересмотреть. Предельная скорость движения тел в вакууме ограничена скоростью света. Поэтому в релятивистском случае относительную скорость движения тел нельзя рассчитывать по классическим формулам сложения скоростей.

В XX в. возникла специальная теория относительности, в основу которой был положен классический принцип относительности Галилея, который распространили на все физические явления. Вместе с постулатом о постоянстве скорости света в вакууме эти два положения составили основу специальной теории относительности (СТО). В СТО концепция абсолютного пространства и времени была заменена представлениями об эквивалентности инерциальных систем отсчета.

К XXI в. в оптике движущихся тел накопилось значительное количество опытных данных, противоречащих СТО [1]. Открытие анизотропии реликтового излучения разрушило принцип относительности. В физике вновь возродилось представление о мировом эфире, который стали называть физическим вакуумом.

Гравитационное красное смещение заключается в уменьшении частоты света, испущенного некоторым источником, находящегося в поле тяготения по сравнению с аналогичным источником, удаленным от массивных объектов. Оно наблюдается как сдвиг спектральных линий источников, близких к массивным телам, в красную область спектра. Этот эффект интерпретируют как гравитационное замедление времени. Сведения о гравитационном красном смещении и изменении хода атомных часов в гравитационном поле уже необходимо включать в вузовские учебные курсы физики. В настоящей работе проведен анализ экспериментов, посвященных влиянию гравитации на резонансные частоты атомных систем, который позволяет выявить некоторые ошибочные положения, распространенные в учебной литературе и материалах Интернета [2-4].

В 1960 г. Р. Паунд и Г. Ребка провели эксперимент, который, по их мнению, позволил «взвесить» фотоны [5, 6].

Паунд и Ребка измеряли резонансные частоты поглощения мессбауэровского гамма-излучения в двух точках, находящихся на разной высоте над поверхностью Земли. Кванты излучения, испускаемые ядром изотопа железа ^{57}Fe с энергией 14,4 кэВ, проходили расстояние 22,6 м по вертикали в поле тяготения Земли и резонансно поглощались мишенью, содержащей эти же ядра. В условиях эксперимента разность значений

гравитационного потенциала составила $\Delta\theta = -gh/c^2 = -2,46 \cdot 10^{-15}$, где g – ускорение свободного падения, h – расстояние между источником и приемником, c – скорость света.

В начале Паунд и Ребка получили значение относительного сдвига частоты в 4 раза больше ожидаемого. Это различие объяснялось разностью температур источника и мишени. При учете поправок на разность температур был получен окончательный результат для гравитационного смещения частоты: $\Delta\nu/\nu = (2,56 \pm 0,26) \cdot 10^{-15}$.

На самом деле выводов о «весе фотона» и изменении хода времени во всех физических процессах в поле тяготения опыт Паунда и Ребки сделать не позволяет. В нем просто измерена разность резонансных частот испускания и поглощения излучения атомной системой в поле тяготения в точках с разным гравитационным потенциалом.

В 1971 г. Дж. Хафеле (J.C. Hafele) и Ричард Китинг (Richard E. Keating) дважды облетели вокруг света, сначала на восток, затем на запад, с четырьмя комплектами цезиевых атомных часов, после чего сравнили показания «путешествовавших» часов с часами, остававшимися в Военно-морской обсерватории США [7]. Перелеты выполнялись на обычных авиалайнерах регулярными коммерческими авиарейсами.

Направление движения	Разность показаний путешествовавших и остававшихся в лаборатории часов в абсолютной системе отсчета, наносекунды			
	предсказанная			измеренная
	гравитационный вклад	кинематический вклад	всего	
на восток	144 ± 14	-184 ± 18	-40 ± 23	-59 ± 10
на запад	179 ± 18	96 ± 10	275 ± 21	273 ± 7

Для объяснения результата эксперимента оказалось необходимым использовать **абсолютную не вращающуюся относительно удаленных звезд систему отсчета с началом координат в центре земного шара**. В абсолютной системе отсчета скорость объектов определяется однозначно, а изменение хода часов происходит объективно независимо от существования наблюдателей.

В абсолютной системе отсчета движутся также и часы, находящиеся в лаборатории из-за вращения поверхности Земли (460 м/с на экваторе).

Таким образом, опыт Хафеле и Китинга показал, что кинематическое изменение хода атомных часов возникает объективно при их абсолютном движении. Скорость тела должна определяться однозначно, то есть адекватное описание движения тела возможно лишь в одной единственной абсолютной системе отсчета. Концепция относительного движения и эквивалентности инерциальных систем отсчета скоростей, лежащая в основе теории относительности, в опыте Хафеле и Китинга оказалась несостоятельной. Использование понятия абсолютной скорости движения разрешает также известный парадокс близнецов.

С началом эры глобальных спутниковых систем навигации появились новые возможности для проверки кинематического и гравитационного смещения хода часов. В настоящее время функционируют две системы GPS (Global Positioning System) США и российская ГЛОНАСС. Европейский союз и Китай планируют создание своих глобальных навигационных систем к 2020 г.

Навигационная система GPS содержит сеть из 24 спутников, каждый из которых передает сигналы всемирного времени по бортовым часам, ход которых синхронизируется со всемирным временем UTC. Большое число спутников необходимо, чтобы наблюдатель в каждой точке поверхности Земли в поле зрения одновременно принимал сигналы от 4 спутников.

Все часы системы: наземные и находящиеся на спутниках синхронизируют с ходом всемирного времени. Достижения электроники позволили довести точность поддержания всемирного времени часами системы до порядка 1 нс в сутки и 1нс/сутки по скорости хода. Поэтому максимальная точность определения координат на поверхно-

сти Земли составляет ~ 30 см. Принцип действия навигационных систем основан на одновременной передаче потребителям сигналов точного всемирного времени (UTC) с 4 спутников. Орбитальный радиус орбит спутников GPS примерно равен 26600 км. Орбиты круговые с точностью ~ 1%. Наклон плоскости орбиты к экватору составляет 55 градусов. Орбитальные скорости спутников в абсолютной геоцентрической системе отсчета равны 3,9 км/сек. Такие параметры орбит спутников и позволяют синхронизовать ход часов, так как релятивистские поправки хода времени бортовых часов оказываются примерно одинаковыми для всех спутников.

Время прохождения сигнала от спутника до потребителя умноженное на скорость света определяет соответствующее расстояние в данный момент времени. Затем производится расчет положения пользователя на Земной поверхности и его высота над уровнем моря.

Ввиду большой высоты орбиты основной вклад в изменение хода спутниковых часов дает их гравитационное ускорение хода. Технически проблема синхронизации спутниковых часов с всемирным временем решается просто путем введения постоянной поправки на ход спутниковых часов, зависящей от высоты спутника над поверхностью Земли. В отличие от опыта Хафеле-Киттинга, точность измерения хода времени в системе GPS увеличена на 4 порядка.

Гравитационные и релятивистские изменения хода часов глобальной навигационной системы имеют объяснение на основе простой и наглядной модели. Эти эффекты происходят объективно и однозначно независимо от существования наблюдателей и скоростей их движения.

Рассмотрим модель часов состоящих из двух параллельных зеркал на расстоянии L друг от друга. Вдоль оптической оси такого резонатора между зеркалами непрерывно циркулирует световой импульс, который после каждого обхода резонатора периодически появляется на выходе устройства. Таким образом, период следования импульсов на выходе часов равен $T = 2L/c$.

При абсолютном движении резонатора в направлении, перпендикулярном его оптической оси со скоростью v световой луч будет испытывать боковой снос, длина пути импульса увеличится и будет происходить вдоль гипотенузы прямоугольного треугольника. Длина этой гипотенузы (длины резонатора) в этом случае станет равной $L(v^2 + c^2)^{1/2}$. Период следования импульсов увеличится и станет равным

$$T' = T(1 + \frac{1}{2}v^2/c^2). \quad (1)$$

Это и есть кинематический эффект замедления времени. Для абсолютной скорости спутника 3,9 км/с кинематическое замедление времени составляет 7200 нс/сутки.

Предположим теперь, что рассматриваемые часы запустили в космос на круговую орбиту, где гравитационный потенциал уменьшается на величину $\Delta\theta$ по сравнению с наземным. При этом показатель преломления вакуума n и оптическая длина резонатора nL увеличится на величину $\Delta L = 2\Delta\theta/c^2$. Период следования импульсов на выходе часов уменьшится

$$T'' = T(1 - 2\Delta\theta/c^2). \quad (2)$$

Этот эффект можно называть гравитационным «ускорением времени» спутниковых часов. Наличие множителя 2 в приведенной формуле следует из общей формулы для зависимости показателя преломления вакуума от гравитационного потенциала [8]

$$n = 1 + 2gh/c^2 = 1 + 2\theta/c^2. \quad (3)$$

В работах [9, 10] этот множитель не учитывается и приведены данные (45900 нс/сутки) по гравитационному ускорению хода спутниковых часов, которые не соответствуют высоте их орбиты. Эти данные требуют уточнения. В любом случае поправка на ход часов для всех спутников навигационной системы постоянна и коррекция хода часов осуществляется введением постоянного множителя.

Таким образом, эксперименты с движущимися часами свидетельствуют о необходимости использования абсолютной системы отсчета для описания не только посту-

пательного, но и вращательного движения относительно физического вакуума. Такой подход разрешает известный «парадокс близнецов» путешественник может как стареть, так и молодеть по отношению к домоседу в зависимости от их абсолютных скоростей по отношению к физическому вакууму или микроволновому фоновому излучению.

Список литературы:

1. Лебедев, В.И. Проблемы в оптике движущихся тел / В.И. Лебедев // Веснік МДУ імя А.А. Куляшова. – 2009. – № 1(32) – С. 181-191.
2. Википедия (свободная энциклопедия). Гравитационное красное смещение. ru.wikipedia.org/wiki. 2008.
3. Китель, Ч. Берклеевский курс физики. Механика / Ч. Китель, У. Найт, М. Рудерман. – Т. 1. – М.: Наука. 1975. – С. 445.
4. Новиков, И.Д. Тяготение. Физическая энциклопедия / И.Д. Новиков. – М., 1998. – Т. 5. – С. 192.
5. Паунд, Р.В. О весе фотонов / Р.В. Паунд // Успехи физических наук. – 1960. – С. 673-683.
6. R.V. Pound, G.A. Rebka // Phys. Rev. Letters. – 1960. – Vol. 4. – P. 337.
7. Hafele, J. Around the world atomic clock: predicted relativistic time gain / J. Hafele, R. Keating // Science. July 14, 1972. – 177 N 4044. – p.166.
8. Фок, В.А. Теория пространства, времени и тяготения / В.А. Фок. – М., 1955. – С. 271.
9. Scientific American. Special issue – Time. 2002. Sept.
10. T. Van Flandren. What the Global Positioning System tell as about relativity / <http://ivanik3.narod.ru>.