

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

96-435

P2-96-435

В.Н.Стрельцов

СКОРОСТЬ СВЕТА В ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ

1996

ВВЕДЕНИЕ

Общая теория относительности (ОТО) является одной из самых чтимых. Ее уникальность заключается в воплощении идеи геометризации физического взаимодействия: физические величины, описывающие гравитацию (потенциалы, напряженности и др.), связаны с чисто пространственно-временными характеристиками (метрика, связность и др.). При этом, однако, остается в тени физическая сторона ее уникальности, которая заключается в отказе от постулата постоянства скорости света. В результате гравитационное взаимодействие (в отличие от трех других фундаментальных взаимодействий) не удовлетворяет требованию лоренц-инвариантности. Напомним, что в ОТО скорость света изменяется с изменением гравитационного потенциала. Но, как выяснилось недавно [1], это положение — зависимость скорости света от потенциала тяготения — противоречит опытам по измерению гравитационного смещения спектральных линий с помощью эффекта Мессбауэра.

Ниже мы детальнее обсудим эту проблему.

ГРАВИТАЦИОННОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ ДЛИНЫ ВОЛНЫ КАК СЛЕДСТВИЕ ПРИНЦИПА ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ

Рассмотрим источник (атом), который расположен на диске на расстоянии r от его центра. При вращении диска с угловой скоростью ω источник имеет линейную скорость

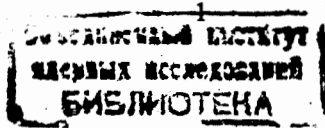
$$v = \omega r. \quad (1)$$

Пусть источник излучает в направлении центра диска. Согласно формуле, описывающей релятивистский (поперечный) эффект Доплера, для длины волны λ_g излучаемого света имеем

$$\lambda_g = \lambda(1 - v^2/c^2)^{-1/2} \simeq \lambda(1 + v^2/2c^2), \quad (2)$$

где λ — длина волны света, излучаемого неподвижным источником. Последнее соотношение может быть также записано в форме

$$\lambda_g = \lambda(1 + \omega^2 r^2/2c^2). \quad (3)$$



Обозначим теперь через Φ разность потенциалов центробежной силы между местом расположения источника и центром диска. Тогда будем иметь

$$\Phi = -\omega^2 r^2 / 2. \quad (4)$$

Отсюда следует, что

$$\lambda_g = \lambda(1 - \Phi/c^2). \quad (5)$$

С точки зрения наблюдателя на диске, источник, согласно принципу эквивалентности, находится в гравитационном поле с потенциалом Φ . Иначе говоря, длина волны света, испущенного атомом, находящимся в поле тяготения, больше длины волны света, испущенного атомом вне поля.

Подчеркнем, что гравитационное увеличение длины волны находится в логическом соответствии с релятивистским эффектом Доплера.

НЕИЗМЕННОСТЬ ЧАСТОТЫ СВЕТА ПРИ ЕГО РАСПРОСТРАНЕНИИ В ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ

В опыте Паунда и Ребке [2] с помощью эффекта Мессбауэра было фактически установлено следующее. Частота (энергия) фотонов ν_2 , излученных в месте с одним гравитационным потенциалом Φ_2 и прибывших в место с другим потенциалом Φ_1 , отличается от частоты ν_1 аналогичных «местных» фотонов. При этом указанные величины описываются известной формулой

$$\nu_g = \nu(1 + \Phi/c^2). \quad (6)$$

Таким образом, согласно опыту, частота света при его распространении в поле тяжести не изменяется с изменением гравитационного потенциала.

Следует обратить внимание на встречающуюся путаницу в этом вопросе. Например, в известной книге Борна [3] читаем: «Когда кванты света $h\nu$ проходят расстояние l против гравитационного поля g , их энергия уменьшается на glm », где $m = h\nu/c^2$. Возможно, что все это просто отголоски мало известного «раннего» замечания Эйнштейна [4]*: «... луч света, испускаемый в области с определенным потенциалом тяготения из S_2 и имеющий при его испускании частоту ν_2 , измеренную часами, находящимися в S_2 , обладает при его прибытии другой частотой ν_1 , если последняя измеряется с помощью точно таких же часов, находящихся в S_1 ». Очевидно, что это утверждение прямо противоречит результатам упомянутого опыта.

*Хотя, с другой стороны, это вполне отвечает духу закона инерции энергии.

С другой стороны, согласно Эйнштейну [5]: «Если смещения спектральных линий к красному концу спектра под действием гравитационного поля не существует, то ОТО несостоятельна». Детальный анализ, напротив, говорит, что как раз отрицательный результат подобного опыта мог бы указывать на возможную зависимость скорости света от Φ .

ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ СВЕТА ОТ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА В ОТО

«По этой теории, — замечает Эйнштейн [4], — принцип постоянства скорости света справедлив не в той формулировке, в какой он кладется в основу обычной теории относительности». Так, из требования обращения в нуль шварцшильдовского интервала ($ds^2 = 0$) для скорости света в гравитационном поле с потенциалом Φ имеем

$$c_g = (1 + 2\Phi/c^2)c, \quad (7)$$

т.е. скорость света изменяется с изменением гравитационного потенциала. Это означает, что по мере приближения к массивному телу скорость света постепенно уменьшается.

Пусть при этом имеется в виду фотон, рожденный в месте с гравитационным потенциалом, величиной которого можно пренебречь. Тогда с учетом (7)

$$(1 + \Phi/c^2)\lambda\nu = c_g = \lambda_g \nu_g = \lambda_g \nu. \quad (8)$$

Откуда следует, что

$$\lambda_g = \lambda(1 + \Phi/c^2). \quad (9)$$

Таким образом, если допустить, что длина волны (импульс) фотона (в отличие от его частоты) постепенно уменьшается в поле тяготения, то мы войдем в противоречие с формулой (5), описывающей гравитационное красное смещение.

Единственный выход из создавшегося положения заключается в отказе от выражения (7), а, следовательно, и от неевклидовой пространственно-временной метрики, выражающей саму суть ОТО.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Следствием принципа эквивалентности является гравитационное увеличение длины волны излучаемого света. При этом опыты по измерению смещения спектральных линий с помощью эффекта Мессбауэра указывают на

неизменность частоты света в процессе его распространения в гравитационном поле. Отмеченным фактам противоречит вытекающая из ОТО зависимость скорости света от гравитационного потенциала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Strel'tsov V.N. — JINR Commun., D2-96-375, Dubna, 1996.
2. Pound R.V., Rebka G.A. — Phys. Rev. Lett., 1960, vol.4, p.337.
3. Born M. — Einstein's Theory of Relativity. Dover, NY, 1962, Ch.VIII, §11.
4. Einstein A. — Über die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie (Gemeinverständlich). Druck und Verlag von Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1920.
5. Idem — Ann. Phys., 1911, vol.35, p.898.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 ноября 1996 года.

Стрельцов В.Н.
Скорость света в гравитационном поле

P2-96-435

Подчеркивается, что следствием принципа эквивалентности является гравитационное увеличение длины волны излучаемого света. Отмечается, что опыты по измерению смещения спектральных линий с помощью эффекта Мессбауэра указывают на неизменность частоты света при его распространении в поле тяготения. Эти факты противоречат вытекающей из общей теории относительности зависимости скорости света от гравитационного потенциала.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1996

Strel'tsov V.N.
Light Velocity in the Gravitational Field

P2-96-435

It is emphasized that the gravitational increase of the wave length of radiated light is the consequence of the equivalence principle. It is marked that the experiments on the measurement of the displacements of spectral lines by means of the Moessbauer effect indicate the invariability of the light frequency when its travelling in the gravity field. The dependence of the light velocity on the gravitational potential following from the general relativity theory contradicts these facts.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1996