

98-300



СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

98-300

В.Н.Стрельцов

P2-98-300

О ЧЕМ СВИДЕТЕЛЬСТВУЮТ ОПЫТЫ  
ПО ИЗМЕРЕНИЮ ГРАВИТАЦИОННОГО  
КРАСНОГО СМЕЩЕНИЯ

1998

Сейчас можно считать признанным мнение (см., например, [1,2]), что гравитационное смещение частоты является на самом деле следствием релятивистского закона сохранения энергии в гравитационном поле (ГП).

ИЗЛУЧЕНИЕ СВЕТА В ГП. Действительно, например, для возбужденного ядра (атома) массы  $M^*$ , излучающего  $\gamma$ -квант  $h\nu$ , имеем баланс энергий

$$M^*c^2 = Mc^2 + h\nu. \quad (1)$$

При наличии ГП (с потенциалом  $\Phi$ ) это выражение переписывается в форме

$$M^*c^2 + M^*\Phi = Mc^2 + M\Phi + h\nu_g. \quad (2)$$

Отсюда прямо видно, что изменение частоты света

$$\nu_g = \nu(1 + \Phi/c^2) \quad (\Delta\nu_g = \nu\Phi/c^2) \quad (3)$$

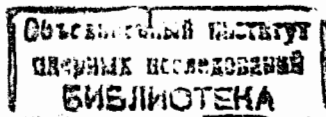
является фактически следствием воздействия поля тяготения на материальное тело (излучатель).

Напомним, что гравитационное красное смещение спектральных линий было предсказано Эйнштейном [3]. Как он заметил: «Атом поглощает или испускает свет, частота которого зависит от потенциала гравитационного поля, в котором находится атом» [4].

Существует, однако, устоявшаяся альтернативная точка зрения (см., например, [5,6]), согласно которой: «Линейчатый спектр, испускаемый какими-либо атомами, находящимися, например, на Солнце, выглядит точно так же, как выглядит на Земле спектр, испускаемый находящимися на ней такими же атомами» [5]. Иными словами, здесь частота излучаемого света не зависит от  $\Phi$ . С этим утверждением вряд ли можно согласиться, поскольку оно, как видно, прямо противоречит закону сохранения энергии.

**Опыт Паунда — Ребки.** Важность экспериментов по измерению гравитационного смещения частоты заключается отнюдь не в очередном подтверждении известного закона, справедливость которого не вызывает сомнений. Дело в том, что в этих опытах свет, излученный в месте с одним гравитационным потенциалом ( $\Phi_2$ ), наблюдается затем в месте с другим (например, исчезающе малым) потенциалом ( $\Phi_1$ ). В результате измеряется суммарный сдвиг

$$\Delta\nu_g^{\text{tot}} = \Delta\nu_g + \Delta\nu_g^p, \quad (4)$$



обусловленный как указанной выше причиной, так и возможным изменением частоты при распространении света в ГП.

Проделанные опыты (см., например, [7]) показали, что

$$\Delta v_g^{\text{tot}} = \Delta v_g \quad (\Delta v_g^p = 0), \quad (5)$$

т.е. частота (энергия) света не изменяется при его распространении в поле тяготения [8].

**Распространение света в ГП.** В то же время, согласно общепринятому мнению (см., например, [3,5,6,9,10]): «...луч света, испускаемый в области с определенным потенциалом тяготения из  $S_2$  и имеющий при его испускании частоту  $\nu_2$ , измеренную часами, находящимися в  $S_2$ , обладает при его прибытии в  $S_1$  другой частотой  $\nu_1$ , если последняя измеряется с помощью точно таких же часов, находящихся в  $S_1$ » [3]. Больше того, «...свет частоты  $\nu$  можно рассматривать как поток квантов с энергией  $\epsilon = h\nu$ . Эти кванты имеют инертную массу

$$m = \frac{\epsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2},$$

которая, согласно принципу эквивалентности, равна их гравитационной массе. Когда кванты света  $h\nu$  проходят расстояние  $l$  против гравитационного поля  $g$ , их энергия уменьшается на  $glm$  [9]\*. Если же фотоны движутся в направлении поля, их энергия, очевидно, возрастает на такую же величину. В этом случае в конце пути энергия кванта  $\epsilon_1 = h\nu_1$  составит

$$h\nu_1 = h\nu + gl \frac{h\nu}{c^2} = h\nu \left( 1 + \frac{gl}{c^2} \right). \quad (6)$$

Сокращая на  $h$  и переходя к нашим обозначениям с учетом  $gl = -\Phi_2 + \Phi_1$ , получим [3,10]

$$\nu_1 = \nu_2 [1 + (\Phi_1 - \Phi_2)/c^2]. \quad (7)$$

Воспользовавшись формулой (3) для величины  $\nu_2$ , найдем, что (в первом приближении)

$$\nu_1 \cong \nu(1 + \Phi_1/c^2), \quad (8)$$

т.е. частота прибывших из  $S_2$  (скажем, от Солнца) в  $S_1$  (скажем, на Землю) фотонов совпадает с частотой аналогичных «местных» фотонов. Как мы видим, общепринятое представление об изменении частоты света при его рас-

\*Напротив, в рамках отмеченного альтернативного подхода «...частота света возрастает с увеличением абсолютной величины потенциала гравитационного поля, т.е. при приближении к создающим поле телам; наоборот, при удалении луча от этих тел частота света уменьшается» [5].

пространении в ГП не согласуется с результатами экспериментов по изменению гравитационного красного смещения спектральных линий.

Полностью схожие рассуждения, опирающиеся на закон сохранения импульса, приводят к аналогичной (3) формуле для длины волны:

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

А соответствующие опыты (см., например, [11]) свидетельствуют, что длина волны (импульс) света также не изменяется при его распространении в ГП.

Автор выражает благодарность В.М.Жабицкому и Г.Н.Афанасьеву за ценные критические замечания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Burke W. — Spacetime, Geometry, Cosmology. Univ. Sci. Books Mill Valey, Ca., 1980, § 32.
2. Huges R.J. — Contemporary Phys., 1993, v.4, p.177.
3. Эйнштейн А. — Собр. научн. трудов. М.: Наука, 1965, т.1, с.170.
4. Там же, с.598.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. — Теория поля. М.: Наука, 1988, с.324.
6. Бриллюэн Л. — Новый взгляд на теорию относительности. М.: Мир, 1972, с.111.
7. Pound R.V., Rebka G.A. — Phys. Rev. Lett., 1960, v.4, p.337; Pound R.V., Snider J.L. — Phys. Rev., 1965, v.140B, p.788.
8. Strel'tsov V.N. — JINR Commun. P2-96-435, Dubna, 1996.
9. Born M. — Einstein's Theory of Relativity. Dover, N.Y., 1962, p.343.
10. Weinberg S. — Gravitation and Cosmology. John Wiley & Son, 1972, ch.3, § 5.
11. Brault J.W. — Bull. Amer. Phys. Soc., 1963, v.8, p.28; Snider J.L. — Phys. Rev. Lett., 1972, v.28, p.853.

Рукопись поступила в издательский отдел  
1 октября 1998 года.