



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P4-2000-45

Х.М.Бештоев

ДЕФЕКТ МАССЫ В ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ
И КРАСНОЕ СМЕЩЕНИЕ В СПЕКТРАХ
АТОМНОГО И ЯДЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЙ

2000

1. Введение

В работах [1-3] обсуждался вопрос об интерпретации результатов измерения спектра излучения в гравитационном поле [4]. С общей точки зрения смещение спектра излучения может быть связано:

- а) с изменением излучаемого спектра из-за влияния гравитационного поля на характеристики излучающей частицы;
- б) с изменением спектра фотонов (или γ - квантов) при их прохождении через гравитационное поле за счет взаимодействия;
- в) с вкладом этих обоих случаев.

2. Дефект массы и красное смещение спектра излучения в гравитационном поле

Влияние гравитационного поля на излучение атома может происходить:

1) Из-за влияния гравитационного поля на излучающий электрон, вращающийся вокруг ядра. В этом случае мы должны учесть вклад изменения гравитационного поля $\varphi(r)$ на атомных расстояниях a :

$$\Delta\varphi(r) = \varphi(r + a) - \varphi(r) \simeq a \frac{\partial\varphi}{\partial r} \Big|_r. \quad (1)$$

Очевидно, что в слабых гравитационных полях этим вкладом можно пренебречь.

2) Из-за изменения эффективной массы излучающего электрона (или нуклона) в гравитационном поле $\varphi(r)$ в точке r . Свободный электрон (или нуклон) имеет массу m .

Известно, что электрон, связанный в атоме, теряет часть своей массы Δm , равной энергии связи ΔE (дефект масс). Такая же ситуация имеет место в гораздо большей степени в сильных взаимодей-

ствиях, т.е. ядро с атомным числом A , состоящее из Z протонов и N нейтронов, имеет дефект массы ΔM , равный энергии связи протонов и нейтронов E_{int} : $\Delta M = E_{int}$.

Аналогично электромагнитным и сильным взаимодействиям гравитационное взаимодействие, которое является притягивающим, будет вызывать дефект масс, определяемый гравитационным потенциалом $\varphi(r)$ в точке r , в которой находится частица (электрон или нуклон):

$$E_{int} = m\varphi(r), \quad \varphi(r) = -\frac{MG}{r}, \quad (2)$$

где G - гравитационная постоянная, M - масса притягивающей системы (Земля), и тогда

$$\Delta m = | E_{int} | = m \left| \frac{\varphi(r)}{c^2} \right|.$$

Отличие гравитационного взаимодействия от электромагнитного и сильного взаимодействий заключается в отсутствии дискретных состояний, а также невозможности потери энергии при образовании связанных состояний через это взаимодействие (в электромагнитных взаимодействиях это происходит через излучение фотонов, а в сильных взаимодействиях - через излучение адронов). При образовании связанных состояний в гравитационных взаимодействиях происходит механическая потеря энергии (т.е. через соударения, а в земных экспериментах с помощью затраты энергии, которая компенсирует этот дефект масс).

Итак, в гравитационном поле $\varphi(r)$ эффективная масса электрона (или нуклона), m_{eff} , есть

$$m_{eff} = m \left(1 + \frac{\varphi(r)}{c^2} \right), \quad (3)$$

т.е. она уменьшается на величину $m \left| \frac{\varphi(r)}{c^2} \right|$. Тогда спектр излучения

электрона [5] в гравитационном поле имеет вид

$$E = \frac{\alpha^2 m_{eff} c^2 Z^2}{2 n^2} \left[1 + \frac{\alpha^2 Z^2}{n} \left[\frac{1}{(j+1/2)} - \frac{3}{4n} \right] + \dots \right], \quad (4)$$

где

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\hbar c}; \quad n' = 0, 1, 2, \dots;$$

$$j = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \dots; \quad n = n' + j + \frac{1}{2} = 1, 2, 3, \dots$$

и смещается в красную сторону на величину ΔE (мы считаем, что в E учтены все тонкие эффекты, связанные с другими взаимодействиями, кроме гравитационного):

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{\varphi(r)}{c^2}, \quad (5)$$

или

$$\frac{\Delta \nu}{\nu} = \frac{\varphi(r)}{c^2}. \quad (5')$$

В работе [6] было измерено красное смещение, обусловленное разностью гравитационных потенциалов на поверхности Солнца и Земли:

$$\frac{\Delta \nu}{\nu} = \frac{\varphi_{сол} - \varphi_{зем}}{c^2},$$

и было получено

$$\frac{(\Delta \nu)_{exp}}{(\Delta \nu)_{theor}} = 1,01 \pm 0,06.$$

Энергетические уровни ядер [7], как и атомов, вероятно, пропорциональны массе излучающего нуклона, поэтому ядерные уровни также будут смещены согласно формулам (3) и (5) в гравитационном поле (интересно отметить, что если бы энергетические уровни были бы обратно пропорциональны массам, то происходило бы фиолетовое смещение).

Из (5) мы видим, что в точке r_1 в земном гравитационном потенциале $\varphi(r_1)$ смещение уровня есть

$$\frac{\Delta_1 E}{E} = \frac{\varphi(r_1)}{c^2}, \quad (6)$$

а в точке r_2 в земном гравитационном потенциале $\varphi(r_2)$ смещение уровня есть

$$\frac{\Delta_2 E}{E} = \frac{\varphi(r_2)}{c^2}, \quad (7)$$

тогда разность уровней в этих двух точках есть ($E = h\nu$)

$$\frac{\Delta_{12} E}{E} \equiv \frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{(\varphi(r_1) - \varphi(r_2))}{c^2} = \frac{\Delta\varphi}{c^2}. \quad (8)$$

Экспериментальные результаты, полученные в [4], показывают, что в гравитационном поле происходит красное смещение, именно на величину ΔE , определяемую выражением (8):

$$\frac{(\Delta\nu)_{exp}}{(\Delta\nu)_{theor}} = 1,05 \pm 0,10$$

и

$$\frac{\Delta V}{2c} = (0,9990 \pm 0,0076) \frac{\Delta\varphi}{c^2}.$$

Очевидно, тогда не остается никакого вклада, который можно связать с взаимодействием фотона (или γ - кванта) с гравитационным полем (см. [1-3]). Мы обсудим влияние гравитационного поля на спектр фотонов (или γ - квантов) из-за их важности для общей теории относительности. Действительно, если фотоны (или γ - кванты) проходят через гравитационное поле не взаимодействуя, по аналогии с фотоном в электрическом поле, то отклонение луча света при прохождении около Солнца можно объяснить только за счет его рефракции в атмосфере Солнца. Перейдем к его рассмотрению.

3. Изменение спектра фотонов (или γ - квантов) из-за их взаимодействия с гравитационным полем при их движении в этом поле

Если масса фотона (далее, в этом разделе, мы будем упоминать только фотоны, имея в виду, что γ - кванты ведут себя аналогичным образом)

определяется следующим выражением [8] (см. также ссылки в [1-3]):

$$m_{ph} = \frac{E_{ph}}{c^2} \quad (9)$$

(следует отметить, что массивные частицы взаимодействуют в гравитационных полях через массу покоя m , а не через $m' = \frac{E}{c^2} = m\gamma$), то при его движении в гравитационном поле из-за переменности этого поля должно происходить взаимодействие. В ранней интерпретации (см. ссылки в [3]) предполагалось, что красное смещение спектра фотонов в гравитационном поле происходит из-за такого взаимодействия. Тогда масса фотона будет меняться согласно стандартной формуле:

$$\Delta m'_{ph} = m_{ph} \frac{\Delta\varphi}{c^2}. \quad (10)$$

Очевидно, что тогда скорость света c будет зависеть от гравитационного поля, и $c'(r)$ будет выражаться в виде

$$c'(r) = \frac{c}{\left(1 - \frac{\varphi(r)}{c^2}\right)} \simeq c\left(1 + \frac{\varphi(r)}{c^2}\right), \quad (11)$$

т.е. в гравитационном поле скорость фотонов будет падать, и чем сильнее поле в точке r , тем меньше будет скорость фотонов.

Если фотон с точки r_1 движется в точку r_2 , то скорость света будет меняться и, соответственно, будет также меняться спектр. Тогда изменение частоты фотонов есть

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{(\varphi(r_1) - \varphi(r_2))}{c^2} \quad (12)$$

(мы предполагаем, что в заданной точке выполняется стандартное соотношение между характеристиками фотона с учетом изменения скорости света).

Как уже отмечалось выше, экспериментальные результаты, полученные в [4], показывают, что наблюдается только гравитационный

эффект, связанный с дефектом масс в гравитационном поле, а эффект, связанный с взаимодействием фотонов с гравитационным полем, не наблюдается (в случае существования взаимодействия фотона с гравитационным полем на эксперименте должен наблюдаться двойной эффект). Ясно, что этот вопрос требует изучения.

Известно, что в ньютоновской теории тяготения участвуют только массивные тела и частицы (т.е. тела и частицы, имеющие массы покоя). Так как фотоны не имеют массы покоя, то использование массы фотона, полученной из формулы (9), является гипотезой, требующей проверки. Проверка показывает (см. выше), что, вероятно, не имеет места красное смещение фотонов (или γ - квантов) при их прохождении через гравитационное поле, что понятно, т.к. они не имеют массы покоя. В таком случае остается вопрос: каким образом может происходить отклонение фотонов в гравитационном поле, если они не участвуют в этих взаимодействиях? Ясно, что эта проблема требует разрешения в экспериментальном аспекте. Отметим, что данный вопрос обсуждался в работе [9] (см. также ссылки в этой работе).

4. Заключение

Показано, что за счет изменения эффективной массы излучающего электрона (или нуклона) в гравитационном поле происходит красное смещение спектра излучения. Это красное смещение равно измененному на эксперименте смещению спектра излучения в гравитационном поле. Такое же смещение должно возникать при движении фотона (или γ - кванта) в гравитационном поле, если он гравитирует (фотоны не имеют массы покоя). Отсутствие двойного эффекта на эксперименте, видимо, означает, что фотоны (или γ - кванты) проходят через гравитационное поле не взаимодействуя.

Литература

1. В.Н. Стрельцов, Сообщение ОИЯИ Р2-96-435, Дубна, 1996;
Сообщение ОИЯИ Р2-98-435, Дубна, 1998.
2. В.В. Окороков, Препринт ИТЭФ № 27, Москва, 1998.
3. Л.Б. Окунь, К.Г. Селиванов, В.Л. Телегди, УФН, 1999, т.69,
с.1140.
4. R.V. Pound, G.A. Repka, Phys. Rev. Let., 1960, v.4, p.337;
R.V. Pound, J.L. Snider, Phys. Rev., 1965, v.140, p.788.
5. S.S. Schweber, An Introduction to Relat. Quantum Field Theory,
Row-Peterson and Co. ..., N. Y.,1961.
6. J.L. Snider, Phys. Rev. Let., 1972, v.28, p.853.
7. М. Престон, Физика ядра, М., Мир, 1961;
О. Бор и Б. Моттelson, Структура атомного ядра, т.1, М.,
Мир, 1971.
8. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теория поля, М., Наука, 1988,
с.324.
9. P. Marmet and C. Couture, Physics Esseys, 1999, v.12, p.162.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 марта 2000 года.

Бештоев Х.М.

P4-2000-45

Дефект массы в гравитационном поле
и красное смещение в спектрах атомного и ядерного излучений

В данной работе показано, что за счет изменения эффективной массы излучающего электрона (или нуклона) в гравитационном поле происходит красное смещение спектра атомного (или ядерного) излучения, равное измеренному на эксперименте смещению спектра излучения в гравитационном поле. Такое же смещение должно возникать при движении фотона (или γ -кванта) в гравитационном поле, если он гравитирует (фотон не имеет массы покоя). Отсутствие двойного эффекта на эксперименте, видимо, означает, что фотоны (или γ -кванты) проходят через гравитационное поле не взаимодействуя.

Работа выполнена в Лаборатории физики частиц ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2000

Перевод автора

Beshtoev Kh.M.

P4-2000-45

Defect Mass in Gravity Field and Red Shift of Atomic
and Nuclear Radiation Spectra

It is shown, that spectrum of radiation of atoms (or nuclei) in gravity field has a red shift since the effective mass of radiating electron (or nucleons) are changed in this field. This red shift is equal to the red shift of spectrum of radiation in gravity field measured on existence experiments. The same schift must arises at passing photon (or γ quantum) through gravity field if it participate in gtaivity interaction (photon have no rest mass). Absence of the double effect in experiment, probably, means that photons (or γ quanta) pass through gravity field without interactions..

The investigation has been performed at the Laboratory of Particle Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2000

Редактор Е.Ю.Шаталова. Макет Н.А.Киселевой

Подписано в печать 22.03.2000
Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. листов 0,73
Тираж 360. Заказ 51928. Цена 88 к.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
Дубна Московской области