

Природа красного смещения

Р. И. Храпко

Фотон не обладает собственной массой-энергией и частотой. Его частота регистрируется дважды: при излучении и при поглощении. Она оказывается различной тогда и только тогда, когда излучатель и поглотитель имеют относительную скорость, измеренную вдоль мировой линии фотона. То есть красное смещение, гравитационное и космологическое, является эффектом Доплера.

Гравитационное и космологическое красное смещение допускает различную интерпретацию, но не любую интерпретацию. Ошибочную интерпретацию, на наш взгляд, используют авторы статьи [1]. Для объяснения гравитационного красного смещения они постоянно употребляют словосочетания типа "частота фотона", "частота света", имея в виду частоту кванта света самого по себе, безотносительно к поглотителю и излучателю света. Они убеждены, что эта величина, собственная частота фотона, не только реально существует в природе, но и сохраняется в процессе распространения света. Они пишут: "Частота фотона в статическом гравитационном поле с высотой не меняется" ([1], с. 1141).

Между тем фотон характеризуется не частотой, а 4-мерным вектором импульса P^i , модуль которого равен нулю:

$$P^i P^j g_{ij} = 0 \quad (i, j = 0, 1, 2, 3). \quad (1)$$

Это равенство выражает тот тривиальный факт, что у фотона нет собственной массы-энергии и частоты, что собственная масса-энергия и частота фотона равны нулю, то есть равна нулю масса покоя фотона, и смысл имеют лишь релятивистская масса-энергия и частота фотона, зарегистрированные излучателем (radiator) или поглотителем (absorber). Эти энергии, соответственно, равны:

$$E_r = P^i e_r^j g_{ij}, \quad (2)$$

$$E_a = P^i e_a^j g_{ij}, \quad (3)$$

где e_r^j и e_a^j - единичные 4-вектора излучателя и поглотителя, а скалярное умножение производится в 4-точках излучения и поглощения.

Вектор P^i неудачно называют изотропным, хотя он очевидно имеет направление в пространстве-времени вдоль мировой линии фотона, а его пространственная компонента является обычным импульсом \mathbf{P} .

В отличие от фотона атом-излучатель имеет собственные уровни энергии, E_1, E_2, \dots , которые присущи самому атому и не зависят ни от чего, тем более от расстояния между атомом и землей, как утверждают авторы [1]. Например, для атома водорода $E_1 = -13,6$ эВ раз и навсегда. Точно так же строго определена и ни от чего не зависит частота излучения атома, зарегистрированная самим атомом. Она может быть равна, например, $\nu_r = (E_2 - E_1)/h$ (при переходе атома со второго уровня на первый). Однако после излучения невозможно восстановить величину ν_r при использовании только самого фотона без информации об излучившем его атоме. Летящий фотон не имеет частоты в силу (1). Ему присущ только весь комплекс P^i , который можно определить экспериментально с помощью уравнения (3).

Если вектора e_r^j и e_a^j оказались параллельны друг другу относительно мировой линии фотона (то есть в смысле параллельного переноса вдоль линии фотона), то это означает, что,

с точки зрения фотона, поглотитель покоится относительно излучателя. Тогда будет $E_a = E_r$. В противном случае равенство нарушится исключительно как проявление эффекта Доплера. И нет нужды привлекать здесь "гравитационное поле".

Рассмотрим неподвижный излучатель и неподвижный поглотитель, находящиеся над излучателем в пространстве-времени Шварцшильда, то есть в окрестности Земли или какой-нибудь звезды. Пусть r_r, r_a - их неизменные радиальные координаты. Очевидно, что излучатель и поглотитель имеют постоянные ускорения, и при этом различные. Это ясно потому, что ускорение свободного падения на разных высотах разное. Это видно и на представленной диаграмме Крускала: различна кривизна мировых линий излучателя и поглотителя. Займемся теперь их скоростями. Излучатель и поглотитель неподвижны относительно звезды. Расстояние между ними не меняется. **Однако существует относительная скорость!** Это обнаруживается при параллельном переносе единичного вектора e_r^j вдоль мировой линии фотона, которая тоже представлена на диаграмме. Из-за этой скорости возникает красное смещение.

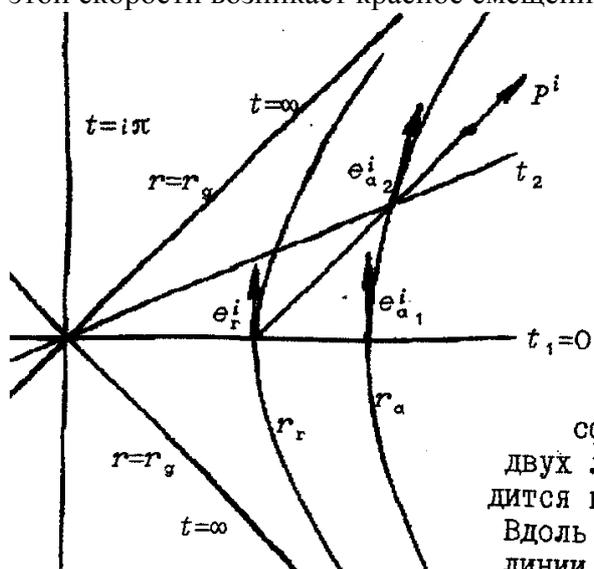


Диаграмма Крускала

r_r - мировая линия излучателя. Излучение происходит в момент времени $t_1=0$. 4-импульс фотона P^i продолжает мировую линию фотона.

r_a - мировая линия поглотителя. Поглощение происходит в момент t_2 .

$r=r_g, t=\infty$ - это сингулярная сфера Шварцшильда, состоящая из двух линий. Левее этих линий находится внутренность сингулярной сферы. Вдоль вертикальной координатной линии шварцшильдовская координата t принимает мнимое значение.

Ускорение неизменного по длине отрезка, соединяющего излучатель и поглотитель, может возникать не из-за присутствия звезды. Этим отрезком может быть ракета в свободном пространстве. Такую ситуацию М. Боулер [2] объясняет следующей фразой: "К моменту прихода сигнала в хвост ракеты частота световой волны в системе, сопутствующей приемнику, приобретает доплеровское смещение" (с. 33). Подобное сравнение скоростей излучателя и поглотителя использовано в работе [3], где подсчитывается, как увидит наблюдатель поверхность расширяющегося шара, находящегося внутри своей сингулярной сферы Шварцшильда.

Аналогичное объяснение дается красному смещению в монографии [4]. Согласно §25.4, покраснение фотона по мере его подъема обусловлено свойствами шварцшильдовских наблюдателей, регистрирующих его частоту, согласно формуле (3).

Доплеровское объяснение красного смещения, конечно, не является единственным возможным. Другое объяснение дано в [4] §7.2. Мы процитируем его. "Исходя из закона сохранения энергии, примененного в рамках ньютоновской теории тяготения, Эйнштейн в 1911 г. показал, что по мере подъема в гравитационном поле энергия фотона должна уменьшаться точно так же, как уменьшается энергия частицы". Аналогичное объяснение дано в [5], с. 200. Там даже предлагается найти относительное изменение энергии фотона, поднимающегося вертикально на высоту z в однородном гравитационном поле g .

Такие объяснения красного смещения, на наш взгляд, допустимы, если помнить, что использование слов "гравитационная энергия фотона" и "потенциал гравитационного поля",

выводит рассуждение за пределы общей теории относительности Эйнштейна, поскольку в этой теории нет понятий гравитационного поля и гравитационной энергии. Эйнштейн геометризовал гравитационное поле и гравитационное взаимодействие.

Однако озадачивает сообщение авторов о "доброжелательной поддержке", оказанной Дж. А. Уилером. Уилер соавтор монографий [4] и [5], а авторы статьи [1], убеждены в том, что квантовые уровни атомов зависят от высоты над Землей, и "частота фотона" реально существует и постоянна.

Список литературы

1. Окунь Л.Б, Селиванов К.Г, Телегди В.Л. Гравитация, фотоны, часы.// Успехи физических наук. - 1999, т. 169. - с. 1141-1150.
2. Боулер М. Гравитация и относительность. - М.: Мир, 1979.
3. Храпко Р.И. Распространение света через сингулярную сферу Шварцшильда. // Журнал экспериментальной и теоретической физики. - 1966, т. 50. - с. 971-974.
4. Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж. Гравитация. - М.: Мир, 1977.
5. Тейлор Э.Ф., Уилер Дж.А. Физика пространства-времени. - М.: Мир, 1971.