

(§ 8) говорилось также о способе расчета средней плотности излучения. Обзор наблюдательных данных, а также некоторые конкретные результаты расчетов, выполненных с использованием формул данного параграфа, приведены в §§ 2 и 3 гл. 5.

## § 12. Однозначно ли объяснение красного смещения расширением Вселенной?

Идея стационарности Вселенной, как показывает исторический опыт, обладает большой привлекательностью, основанной, вероятно, на инерции мышления. Человек привык к малым скоростям. В пределах жизни человека и даже человечества не происходило заметных изменений в большинстве космических систем. Поэтому, когда появилось наблюдательное доказательство красного смещения спектральных линий, последовал ряд попыток дать объяснение смещения линий, отличное от доплер-эффекта. Многие авторы хотели бы избежать представления о доплер-эффекте и взаимном удалении галактик. Уж очень грандиозна картина расширяющейся Вселенной. Казалось гораздо привлекательнее и «спокойнее» представление о неэволюционирующей Вселенной. Отсюда многочисленные попытки отстоять стационарность Вселенной, дать какое-то иное объяснение «красному космологическому смещению». К сожалению, подобные попытки встречаются иногда еще и сегодня.

В этих объяснениях используется тот факт, что смещение именно красное. Если  $\rho > \rho_c$ , то через  $10^{10}$  лет красное смещение сменится фиолетовым; тогда эти объяснения отпадут автоматически. Но сейчас во всяком случае  $H > 0$ , смещение спектральных линий соответствует уменьшению энергии кванта, т. е. потере квантом части энергии на пути от далеких объектов до земного наблюдателя.

В связи с этим возникает вопрос: насколько однозначна интерпретация красного смещения как эффекта Доплера? Не может ли другая физическая причина вести к покраснению квантов света — фотонов? Первый вариант попытки объяснения основан на гравитационном красном смещении ОТО. В ОТО известно, что световые кванты краснеют, когда они распространяются из области большего гравитационного потенциала к меньшему. Например, краснеют кванты, идущие снизу вверх, у поверхности Земли. Этот эффект измерен в лаборатории. Кванты, движущиеся сверху вниз, становятся более фиолетовыми.

Однако эффект покраснения квантов в сильном поле тяготения никак не может объяснить космологическое красное смещение. Это ясно из рассмотрения, проведенного в § 5 этой главы. Во-первых, эффект чрезвычайно слаб в однородной Вселенной при современной плотности. Во-вторых, смещение пропорционально квадрату расстояния, а не первой степени, как это имеет место в законе Хаббла, и, в-третьих, самое важное, имеет другой знак — смещение

должно быть фиолетовым, а не красным! Действительно, это прямо видно из формулы (3.5.10).

Разумеется, гравитационное изменение частоты квантов учитывается в точных формулах теории космологического красного смещения, и формулы § 5 это наглядно демонстрируют. Однако это эффект второго порядка малости. Он во всяком случае не основной в красном смещении.

Часто для объяснения красного смещения высказывались идеи о «старении» квантов, о каком-то механизме потери энергии квантами по мере их распространения в пространстве. Возникли два варианта объяснения:

1. Квант по пути от источника до наблюдателя взаимодействует с межгалактическим веществом и отдает ему часть своей энергии.

Такое объяснение сразу опровергается, ибо взаимодействие должно носить характер рассеяния. Отдача энергии сопровождается передачей импульса. При этом, вообще говоря, должно меняться и направление кванта, что должно привести к размыванию изображения источника. Такого размывания на опыте нет.

2. Квант спонтанно распадается. Например, он испускает пару нейтрино — антинейтрино, отдавая им малую долю своей энергии. Согласно законам сохранения энергии и импульса квант может испускать только частицы с массой покоя, равной нулю, притом частицы, летящие параллельно направлению полета фотона.

Однако Бронштейн (1934) показал, что такой процесс, если бы он существовал, был бы давно замечен в лабораторных экспериментах. Бронштейн показал, что вероятность самопроизвольного распада кванта должна быть обратно пропорциональна частоте.

Вывод Бронштейна вытекает из следующих соображений. Вспомним известную зависимость для самопроизвольно распадающейся частицы, например  $\mu$ -мезона, между временем жизни и энергией.

Пусть  $T_0$  — время жизни покоящегося мезона. Тогда, если он движется со скоростью  $v$ , его время жизни  $T$  есть

$$T = \frac{T_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (3.12.1)$$

Энергия движущегося мезона есть

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (3.12.2)$$

где  $m_0$  — масса мезона.

Вероятность распада кванта обратно пропорциональна времени жизни,  $W = \frac{1}{T}$ , а энергия есть  $E = hv$ . Отсюда находим

$$EW = m_0 c^2 W_0 = \text{const}, \quad hvW' = \text{const}, \quad W = \frac{\text{const}'}{v}.$$

Это и есть формула Бронштейна. Согласно принципу лоренц-инвариантности эта формула универсальна и для мезонов и для фотонов.

Но если бы вероятность распада фотона действительно была обратно пропорциональна частоте, то особенно быстро распадались бы кванты радиоволн. Ничего подобного не наблюдается. Красное смещение волн в радиодиапазоне точно такое же, как и в оптическом. Это непосредственно проверено наблюдением радиолинии  $\lambda=21$  см у далеких галактик.

Несмотря на указанные соображения, конкретный вариант гипотезы старения квантов развивают в последнее время Пекер, Робертс и Вижье (1972). Они полагают, что фотоны теряют энергию при рассеянии на других фотонах. Для межгалактических объектов предполагается, что играет роль рассеяние на реликтовом излучении. Вижье ссылается на авторов, утверждающих, что лучи, проходящие возле солнечного диска, испытывают красное смещение, усиленное в соответствии с плотностью излучения при температуре Солнца.

Наблюдения эти лежат на пределе точности и потому недоказательны. С другой стороны, квантовая электродинамика отрицает возможность *такого* взаимодействия фотонов. Все без исключения предсказания квантовой электродинамики согласуются с опытом, и, следовательно, нельзя согласиться с гипотезой Вижье. Итак, нет никаких приемлемых объяснений красного смещения, кроме представления о расширяющейся Вселенной. Подчеркнем здесь еще раз, что, без измерения красного смещения, уже из уравнений механики следует, что однородное распределение вещества должно быть нестационарным (см. § 2 гл. 1), и красное смещение в спектрах галактик, являющееся эффектом Доплера, подтверждает это.