

Квантовые эффекты смещения излучения в длинноволновую и коротковолновую части спектра.

Н. Г. Зуб¹⁾

28 января 2014 г.

Исходя из квантовых представлений об электромагнитных колебаниях, показана связь между поглощенной частью энергии квантов межзвездной средой и смещением спектров пропорциональных относительному расстоянию между источником и приемником квантов, а так же влияние на смещение спектров движения объектов относительно друг друга.

Из астрономических наблюдений известно, что спектральные линии далеких галактик смещены к красному концу спектра и смещение для каждого объекта имеет свое значение. Из известных спектров максимальное красное смещение имеется у галактик ИОК-1 в созвездии Волосы Вероники, спиральной галактики Мессье М104(Сомbrero) из созвездия Девы и у наблюдаемого, как гамма-всплеск, объекта GRB 090423 в созвездии Льва. Хабблом было установлено соотношение, что чем больше расстояние до источника, тем больше были измеренные значения красного смещения спектров [1]. Но некоторые объекты имеют не красное, а фиолетовое смещение в своих спектрах. Для примера, такое смещение имеют спиральные галактики Мессье М90 и Туманность Андромеды М31. Так же существует реликтовое излучение [2], космическое микроволновое фоновое излучение с высокой степенью изотропности и со спектром, характерным для излучения абсолютно чёрного тела с температурой 2,725 К.

Любая вещественная среда влияет на скорость распространения и энергию квантов. Такой вещественной средой является и межзвёздная среда заполняющая всё пространство между галактиками, содержащая элементарные частицы, различные атомы, молекулы и дисперсное вещество, в виде газа и пыли.

Рассмотрим взаимодействие квантов электромагнитного поля со средой, причем источник и приемник излучения будем считать неподвижными. Излученная источником энергия в виде квантов с частотой ν взаимодействуя с межзвездной средой, часть квантов при таком взаимодействии отразится, часть поглотится, а часть квантов рассеиваясь проникнет сквозь среду и будет фиксироваться наблюдателем, как кванты с частотой ν' .

$$E_{sou} = E_{ref} + E_{abs} + E_{dis} + E_{rec} \quad (1)$$

где $E_{sou}, E_{ref}, E_{abs}, E_{dis}, E_{rec}$ - энергии излученная источником, отраженная, поглощенная, рассеяная и фиксируемая наблюдателем соответственно.

Учитывая, что в процессе отражения и поглощения кванты полностью отражаются и поглощаются средой, поэтому наблюдатель не будет видеть эти кванты, как существующие. Частота квантов при этом не меняется и прямого влияния на процесс рассеяния нет. Далее, обозначим часть энергии $E_{dis} + E_{rec}$, как E_{act} .

$$E_{act} = E_{dis} + E_{rec} \quad (2)$$

где E_{act} - энергия взаимодействующая в рассеивании средой.

Воспользуемся законом сохранения энергии для этого случая:

$$E_{bas} + E_{act} = E_{exc} + E_{rec} \quad (3)$$

где E_{bas}, E_{exc} - энергия межзвездной среды до и после взаимодействия соответственно.

Так, как излученная энергия имеет квантовый характер, то $E_{act} = h\nu$, а $E_{rec} = h\nu'$.

$$E_{bas} + h\nu = E_{exc} + h\nu' \quad (4)$$

здесь $h\nu$ и $h\nu'$ - энергия квантов до и после взаимодействия соответственно.

¹⁾nick@zoub.ru

Со средой имеющей энергию E_{bas} взаимодействует квант $h\nu$, после взаимодействия энергия среды станет E_{exc} , а энергия кванта $h\nu'$.

Из выражения (4) выразим наблюдаемую частоту ν' :

$$\nu' = \nu - \frac{E_{exc} - E_{bas}}{h} \quad (5)$$

обозначим поглощение при рассеянии, равное разнице энергии до и после взаимодействия квантов со средой:

$$\Delta E = E_{exc} - E_{bas} \quad (6)$$

где ΔE - величина, на которую увеличилась энергия среды в результате рассеяния. Из (5) получим:

$$\nu' = \nu - \frac{\Delta E}{h} \quad (7)$$

Энергия, поглощенная средой, имеет квантовый характер

$$\Delta E = \Delta h\nu \quad (8)$$

поэтому из (7):

$$\nu' = \nu - \frac{\Delta h\nu}{h} \quad (9)$$

Из формулы (8), следует вывод: Если в результате рассеяния квантов энергия среды изменится на весьма незначительную величину, то на весьма незначительную величину, должна измениться и энергия кванта. А из формулы (9) видим, в результате рассеяния, происходит поглощение межзвездной средой не всей энергии кванта, как это происходит при резонансном поглощении, а только его части $\Delta h\nu$. Это соответствует высказанным Луи де Бройлем представлениям о двойственной корпускулярно-волновой природе электромагнитного излучения [3]. Этот принцип следует понимать, следующим образом: кванты, являясь фронтом волны электромагнитного излучения, в некоторых физических эффектах проявляют корпускулярные свойства при этом остаются волной.

Если траектория движения квантов проходит вблизи сечения рассеяния, которое может составлять порядка нескольких атомных орбиталей, то кванты будут взаимодействовать с электронами находящимися на электронных орбитах. В этом случае, энергия излучения будет незначительно уменьшаться. Рассеяние энергии квантов сопровождается частичным перераспределением энергии между квантами и атомами. Такое рассеяние считает неупругим. Изменение же энергии кванта означает изменение длины волны и такое изменение может происходить в любом диапазоне электромагнитного спектра.

Далее получим:

$$\nu' = \nu - \Delta\nu \quad (10)$$

В полученном выражении, наблюдаемая частота ν' равна излучаемой частоте ν за вычетом части частоты $\Delta\nu$, зависящей от величины части энергии кванта $\Delta h\nu$ поглощенного при рассеянии межзвездной средой и равной ΔE .

При определенных условиях некоторые кванты межзвездная среда поглощает целиком. Эту часть энергии ранее не учитывали, поэтому, эту энергию надо приплюсовать к энергии рассеяния. В результате этих двух поглощений, общая энергия среды увеличится на:

$$\Delta E = E_{abs} + E_{dis} \quad (11)$$

сумму энергии поглощенной и рассеянной или

$$\Delta E = E_{exc} - E_{sou} \quad (12)$$

разницу энергии межзвездной среды до и после взаимодействия.

Закон Кирхгофа для теплового излучения [4] гласит: "В условиях полного термодинамического равновесия излучение электромагнитной энергии в точности компенсируется ее поглощением". На межзвездную среду, удовлетворяющую требованиям термодинамической системы и находящуюся в

состоянии устойчивого равновесия, воздействует в качестве внешнего фактора излучение звезд. И это внешнее воздействие, выводящее систему из состояния равновесия, вызывает протекание процессов, способных компенсировать изменение. То есть, несмотря на то, что часть энергии ΔE в виде излучения поглощают отдельные атомы, сама межзвездная среда должна находиться в термодинамическом равновесии при температуре около 2,725 К. Поэтому, среда будет возвращаться по истечении достаточно большого промежутка времени, достаточного для релаксации системы к этому своему состоянию, излучая избыточную энергию равную количеству поглощенной энергии ΔE в виде реликтового излучения E_{rel} равномерно распределенного по небесной сфере

$$\Delta E = E_{rel} \tag{13}$$

где E_{rel} - реликтовое излучение, которое по интенсивности и спектральным характеристикам близко к тепловому излучению абсолютно черного тела. И это излучение направлено не от галактик, а из пространства расположенного между ними, от межзвездной среды. Одной из составляющих реликтового излучения, являются кванты отклоненные в межзвездной среде на достаточно большой угол, в этом случае их спектр и энергия будет одной из составляющих реликтового излучения. Другой составляющей является переизлучение, межзвездная среда состоит из самых разных атомов, элементарных частиц и пыли, поэтому спектр излучения чрезвычайно насыщен огромным числом различных линий слабой интенсивности, местами сливающихся друг с другом, некоторые из них имеют красное, размазанное в длинноволновую часть смещение спектра.

Некоторые смещения в спектрах, являются следствием эффекта Доплера [5], у них изменение наблюдаемой частоты электромагнитной волны излучаемой объектом зависит от скорости перемещения источника и приёмника относительно друг друга. Поэтому, изменим условия и допустим, что как источник, так и приемник могут перемещаться в любом направлении по прямой проведенной через них, а движением в поперечном направлении будем игнорировать.

Обозначим c - скорость распространения электромагнитной волны в среде, v_{sou} и v_{rec} - скорости движения источника и приемника квантов соответственно. Скорость источника v_{sou} будем считать положительной, если источник движется по направлению совпадающему с направлением перемещения волны, и отрицательной, если источник движется в противоположную сторону. И так же аналогично скорость приемника v_{rec} будем считать положительной, если приемник движется в одном направлении с волной, и отрицательной, если приемник движется навстречу волне.

При движении источника имеющего скорость v_{sou} , фронт волны возникший в начальный период времени, в конце временного интервала, когда источник завершает ν_0 колебание, будет находиться от источника на расстоянии $c - v_{sou}$. И на этой длине уложатся излучаемые источником ν_0 колебаний волны. Для этого описания, длина волны будет равна:

$$\lambda = \frac{c - v_{sou}}{\nu_0} \tag{14}$$

Для приемника имеющего скорость v_{rec} , фронт волны за время необходимое для выполнения колебаний ν_i , будет находиться от источника на расстоянии $c + v_{rec}$. На этой длине будет совершено ν_i число колебаний волны. А длина волны будет равна:

$$\lambda = \frac{c + v_{rec}}{\nu_i} \tag{15}$$

Объединим формулы 14 и 15:

$$\frac{c - v_{sou}}{\nu_0} = \frac{c + v_{rec}}{\nu_i} \tag{16}$$

Выразим частоту ν_i :

$$\nu_i = \nu_0 \frac{c + v_{rec}}{c - v_{sou}} \tag{17}$$

В данной формуле, скорость и источника, и приемника квантов совпадающая с направлением волны считается положительной. Знак в числителе и знаменателе формулы (17), зависит от того, в каком случае принято считать положительной или отрицательной скорость источника и приемника квантов.

Учитывая эффект Доплера, формула (10) принимает следующий вид:

$$\nu' = \nu \frac{c + v_{rec}}{c - v_{sou}} - \Delta\nu \quad (18)$$

Чем больше расстояние между источником и приемником квантов, тем больше между ними будет располагаться масса межзвездной среды. А так как смещение спектра обусловленное поглощением при рассеивании пропорционально протяженности межзвездной среды, то и отношение энергии излучения рассеянной в межзвездной среде к излученной энергии будет пропорционально этой протяженности. Поэтому, запишем это в виде:

$$\frac{\Delta h\nu}{h\nu} = Zr \quad (19)$$

где r - расстояние между источником и приемником излучения, Z - постоянный коэффициент пропорциональности, имеющий размерность обратной секунды. где r - расстояние между источником и приемником излучения, Z - постоянный коэффициент пропорциональности, имеющий размерность обратной длины и примерно должен быть равным: $7.6 * 10^{27}(1/м)$.

Для $\Delta\nu$ выражение преобразится:

$$\Delta\nu = Zr\nu \quad (20)$$

Подставив полученное значение $\Delta\nu$ в формулу (18) получим:

$$\nu' = \nu \left(\frac{c + v_{rec}}{c - v_{sou}} - Zr \right) \quad (21)$$

Заметим, что выражение (21) позволяет сделать следующий вывод: наблюдаемая частота, а значит и смещение спектра зависят от излучаемой частоты, относительных скоростей движения источника и приемника излучения и расстояния между ними. Из формулы видно, что смещение является суммой двух явлений - эффекта Доплера и эффекта от поглощения при рассеянии части энергии кванта межзвездной средой. Энергия ΔE поглощенная при рассеянии межзвездной средой, через определенное время становится причиной реликтового излучения. Что полностью согласуется с экспериментальными наблюдениями.

Список литературы

1. E. P. Hubble, A Relation between Distance and Radial Velocity among Extra-Galactic Nebulae, Proc. Nat. Acad. Sci., **15**, 168, Mt. Wilson Comm., No.105 (1929).
2. A. A. Penzias, R. W. Wilson, A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s, Astrophys. J., **142**, 419 (1965).
3. L. V. Broglie, Recherches sur la theorie des quanta (Researches on the quantum theory), Thesis, Paris, 1924.
4. G. R. Kirchhoff, Ueber den Zusammenhang von Emission und Absorption von Licht und Wärme, Monatsberichte der Akademie der Wissenschaften zu Berlin, sessions of Dec., 1859, 1860, 783.
5. J. C. Doppler, Uber das farbige Licht der Doppelsterne und einiger anderer Gestirne des Himmels, Abh.konigl.bohm.Ges.Wiss., 2, 465-482, 1842.