

РЕЛИКТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ

Борис Ихлов

Аннотация

Показано, что эффект Унру может быть причиной космического микроволнового излучения. Обосновано предположение, что темная материя есть космическая пыль особого рода.

Ключевые слова: температура, постоянная Планка, эволюция, атом Бора, центробежная сила

Введение

Микроволновое реликтовое излучение [1], предсказанное Гамовым, обнаружено экспериментально и служит подтверждением теории Большого взрыва.

Тёмная материя, составляющая примерно 25% массы-энергии Вселенной [2], не участвует в электромагнитном взаимодействии, соответственно, недоступна прямому наблюдению, проявляется только в гравитационном взаимодействии и влияет на скорость расширения Вселенной. Понятие тёмной материи введено для объяснения проблемы скрытой массы в эффектах аномально высокой скорости вращения внешних областей галактик и гравитационного линзирования; в них задействовано вещество, масса которого намного превышает массу обычной видимой материи.

Возможно, что частицы, из которых состоит темная материя, представляют собой радиопоглощающий (рассеивающий) материал, например, гидрогенизированный аморфный углерод с ферромагнитными наночастицами. Такой материал имеет малую удельную массу, прочен, термостоек и устойчив к агрессивным средам. Но может быть и другой вариант.

Эффект Фуллингга – Девиса - Унру

Фотонный газ Унру возникает каждый момент времени и не может приходить в равновесие с окружающей средой. Следовательно, можно было бы предположить, что измеряемое реликтовое излучение на самом деле и есть излучение Унру.

В силу принципа относительности Млечный Путь - такая же галактика, как и остальные – она тоже отдаляется с ускорением от других галактик. В таком случае, Млечный Путь должен быть пронизываем излучением. В силу принципа относительности в любой точке Вселенной температура излучения Унру одинакова. Все галактики, находящиеся на расстояниях меньше радиуса Вселенной, дают меньший энергетический вклад в излучение Унру.

Температура наблюдаемого излучения Унру выражается той же формулой, что и температура излучения Хокинга, но зависит не от поверхностной гравитации, а от ускорения системы отсчета a :

$$T = \frac{\hbar a}{2\pi k c} \approx 4 \cdot 10^{-21} \cdot a$$

Энергия фотонного газа - $E = \frac{8\pi^5 k^4}{15c^3 h^3} VT^4$, число фотонов - $N = \frac{2k^3 \zeta(3)}{c^3 h^3 \pi^2} VT^3$. Используем закон Хаббла

$v = Hr, a = H^2 r$, где r - радиус Вселенной. Оценим энергию современного фотона Унру на Земле, принимая постоянную Хаббла равной 10^{-18} :

$$E_{\text{Унру}} = \frac{E}{N} \approx 4,2kT \approx \frac{2\hbar H^2 r}{\pi c} \approx 10^{-52} \text{ Дж} \quad (1)$$

Угловое ускорение вращения диска Млечного пути дает энергию фотона Унру порядка 10^{-34} Дж, ускорение вращения Местной группы – на несколько порядков меньше. Эпоха инфляции продолжалась от 10^{-42} до 10^{-36} сек. В это время $10^{42} \text{сек}^{-1} > H > 10^{36} \text{сек}^{-1}$, радиус – порядка 10^{-2} . Возьмем меньшее значение, тогда по окончании эпохи инфляции энергия фотона Унру – порядка 10^{30} Дж.

Оценим энергию реликтового излучения:

$$E_{\text{реликт}} = \hbar\omega \approx 10^{-22} \text{дж}$$

Если выбрать период 380 000 лет, когда излучение отделилось от вещества, и даже момент после Темных веков 550 млн лет от Большого взрыва, то, проинтегрировав закон Хаббла, нетрудно видеть, что энергия фотонов Унру мало чем отличается от современной, поскольку экспонента с малым значением постоянной Хаббла близка в единице.

Можно найти такую временную точку, когда плотность межзвездного газа скачком становится настолько низкой, что столкновения с фотонами становятся критически редки. Это время образования звезд через 550 – 800 тыс. лет, но и через этот период времени, если считать размер Вселенной в соответствии с законом Хаббла, энергия фотонов Унру почти не изменилась. Однако механизм Унру генерировал частицы весь период расширения Вселенной. То есть, должны быть промежуточные по величине параметры H и r , при которых энергия фотона Унру равна энергии реликтового фотона.

Очевидно, что фотоны Унру высоких энергий должны были исчезнуть за счет образования множественных пар частиц, но возникает вопрос об исчезновении спектра низкоэнергетических фотонов, который должен быть сплошным. Они снимаются, если величина постоянной Хаббла уменьшилась за крайне короткий промежуток времени.

Через 380 000 лет после Большого взрыва красное смещение - $z \approx 1000$, температура реликтового газа равновесна с остальной средой - $T \approx 3000\text{K}$, плотность реликтового газа - около $4 \cdot 10^{11} / \text{см}^3$.

Поскольку в момент отделения излучения от барионной материи температура излучения - 3000 К, а размеры Вселенной были примерно в 1000 раз меньше современных, из предположения близости температуры газа Унру по порядку к температуре реликтового газа, можно сделать оценку промежуточного значения коэффициента Хаббла в момент времени 380 000 лет от Большого взрыва:

$$H_{\text{recombination}} \approx 4 \cdot 10^{-5} \text{с}^{-1}$$

Таким образом, фотоны Унру могут играть роль фонового излучения с температурой 2,7 К.

Эволюцию Вселенной представляют следующим образом: белые карлики остынут до 1 К через 10^{17} лет. Через 10^{19} лет нейтронные звезды остынут до 30 К. Через 10^{32} лет вещество распадется на фотоны и нейтрино. Самые массивные черные дыры в центрах галактик испарятся в течение 10^{96} лет. Но это неполная картина.

Согласно закону Хаббла галактики разбегаются с ускорением. Оно снизилось на десятки порядков за эпоху инфляции, однако с эпохи 5-6 млрд. лет величина ускорения медленно увеличивается. Чем больше удаляется галактика, тем выше становится ее скорость. При ускорении возникает эффект Фуллинга – Унру, рождение пар частиц из вакуума.

Млечный Путь - точно такая же, как и остальные, галактика – она тоже отдаляется с ускорением от других галактик. В таком случае, когда ускорение Млечного Пути достигнет определенной величины, галактика будет пронизана излучением. Исходя из закона Хаббла ускорение $a = H^2 r$, $r = r_0 \exp(Ht)$, учитывая, что современный радиус Вселенной $r \approx 10^{27}$, и принимая для оценки, что постоянная Хаббла равномерно увеличивалась за 7 млрд. лет до современной величины 10^{-18} , можно посчитать, когда ускорение достигнет обозначенного уровня: $t^2 \exp(10^{-36}t) \approx 10^{64} c^2$, откуда $t \approx 3 \cdot 10^{24}$ лет. То есть, после остывания белых карликов и нейтронных звезд, но задолго до распада вещества галактики начнут постепенно нагреваться.

Темная материя

Предполагается, что темная материя состоит из вимпов (WIMP, Weakly Interacting Massive Particle), гипотетических слабо взаимодействующих массивных частиц. Масса вимпов должна быть минимум в несколько десятков раз больше массы протона $M_p = 10^{-27}$ кг. В то же время вимпы не входят в Стандартную модель. В суперсимметричных теориях рассматриваются также стабильные нейтралы. В различных не подтвержденных экспериментах наблюдался возможный сигнал от вимпов с массой порядка 4-19 M_p .

Тёмные или поглощательные туманности, типы межзвёздного облака, не являются темной материей, они настолько плотны, что поглощают видимый свет от эмиссионных или отражательных туманностей (как, напр., туманность Конская Голова) или звёзд (как, напр., туманность Угольный Мешок), находящихся позади. Во внутренних частях тёмных туманностей рождаются звезды, протекают другие активные процессы. Однако возможно, что темную материю может образовывать космическая пыль особого рода. Размер частиц космической пыли составляет от нескольких молекул до 0,2 мкм. Пыль Солнечной системы включает в себя кометную пыль, астероидную пыль, пыль с пояса Койпера и межзвёздную пыль, проходящую через Солнечную систему. Плотность пылевого облака, через которое проходит Земля, составляет примерно 10^{-6} частиц пыли на m^3 . За сутки в атмосферу Земли попадает, по различным оценкам, от 5 до 300 т космического вещества, в том числе пыли. Частицы пыли взаимодействуют с электромагнитным излучением, характер отражённого излучения зависит от размера частиц, поперечного сечения, структуры, показателя преломления, длины волны электромагнитного излучения, и т. д. Плотность частиц межпланетной пыли в стратосфере Земли – 1-3 г/см³ со средней величиной около 2,0 г/см³. Околзвёздная пыль состоит из молекул CO, карбида кремния, силикатов, полициклических ароматических углеводородов, льда и полиформальдегида. Частые компоненты частиц пыли - графит, оксид алюминия, шпинель и др., которые конденсируются при высокой температуре из охлаждённого газа, возникающего при звёздных ветрах или при декомпрессии внутренней части сверхновой.

В уравнении Шредингера фигурирует энергия электрона в электрическом поле ядра. Если ее заменить на гравитационную, то гравитационный боровский радиус –

$$r_{grav}(n) = \left(\frac{n\hbar}{\pi}\right)^2 (GMm^2)^{-1}$$

Для протона и электрона первый боровский радиус больше радиуса Вселенной, 10^{28} м. Если принять, что квантовые свойства проявляются на расстояниях порядка 1-го боровского радиуса 10^{-10} - 10^{-11} м, то

$$2a + b = -(43-44),$$

где a и b – показатели степени, например: $m \propto 10^a$. Слагаемые могут принимать значения: - 15 и - 13, - 16 и - 11, или - 16 и -12, - 15 и -14 и т.д., которые входят в диапазон масс космической пыли - от 10^{-16} кг до 10^{-4} кг. То есть, в космической пыли должны возникать связанные состояния, которые не излучают электромагнитные волны, т.к. частицы пыли нейтральны, и для перехода с орбиты на орбиту взаимодействуют не с электромагнитным, а с гравитационным вакуумом.

Соединения типа макромолекул, а также образованные под действием межмолекулярного взаимодействия Ван-дер-Ваальса, диполь-дипольного взаимодействия, потенциальная энергия которого спадает с радиусом $U_{orient} \propto -1/r^6$, диполь-дипольного индуцированного ($U_{ind} \propto -1/r^6$), лондоновского дисперсионного и дисперсионного Слэтера - Кирквуда ($U_{disp} \propto -1/r^6$) с разными коэффициентами пропорциональности и в первом типе с зависимостью от температуры, не могут быть темной материей, поскольку способны излучать и поглощать электромагнитные волны.

Возможно, что подобные темной материи области космической пыли возникают вследствие сепарирования по массам центробежной силой, возникающей при вращении галактик, таким образом, они обособляются от остальной космической пыли.

Заключение

Остывание межзвездной среды во Вселенной с расширением замедляется. Учет фотонов Унру дает возможность расширить рамки термодинамического подхода ко Вселенной. Если предположение о фотонах Унру как о излучении верно, то наблюдаемый фон не может быть одним из подтверждений теории горячей Вселенной. Если предположение о связанных состояниях в космической пыли соответствует реальности, оно может быть шагом к построению «классической» квантовой гравитации. В случае справедливости модели детекторы темной материи, напр. , в проекте Lux-Zeplin, окажутся бесполезными.

Литература

1. Fixsen, D. J. The Temperature of the Cosmic Microwave Background. The Astrophysical Journal. IOP Publishing, 2009. Vol. 707. P. 916-920. [doi:10.1088/0004-637X/707/2/916](https://doi.org/10.1088/0004-637X/707/2/916).
2. Francis, Matthew. First Planck results: the Universe is still weird and interesting. Arstechnica (2013).