

О распределении галактик в зависимости от величины красного смещения

(06.05.2010, откорректировано 10.09.2010)

Аннотация

В статье сравниваются реально наблюдаемая и теоретически возможные модели распределения числа галактик во Вселенной в зависимости от величины красного смещения. Показано, что основным фактором является не геометрические свойства модели, а закон эволюции числа галактик во Вселенной.

1. Введение

В работе [Barger et al., 2008] приведена реально наблюдаемая функция распределения для нескольких тысяч галактик по величине красного смещения (рис. 1).

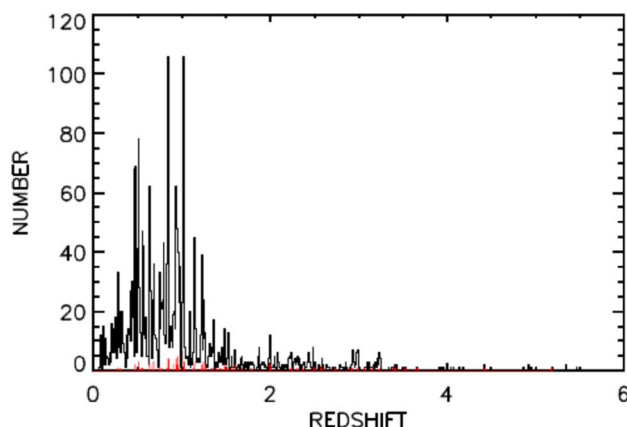


Рисунок 1.

Наблюдаемая функция распределения галактик по величине красного смещения ([Barger et al., 2008]).

Сопоставление эмпирически полученных данных с прогнозами, которые дают различные теоретические модели, представляет интерес с точки зрения выбора в пользу одной из них. Сразу укажем, что поскольку красное смещение обычно связывают со скоростью расширения Вселенной, то вряд ли имеет смысл рассматривать *статичные* модели¹.

В каждой *расширяющейся* модели данному значению красного смещения z соответствует число галактик $N(z)$, удаленных от наблюдателя на одно и то же расстояние; иначе говоря, все эти галактики локализованы на одной и той же сферической (не обязательно евклидовой) поверхности. Очевидно, что указанное число галактик равно произведению *поверхностной* концентрации $n(z)$ галактик на такой сфере на площадь поверхности сферы:

$$N(z) = n(z) \cdot S(z)$$

¹ Иногда формальная связь между расстоянием до наблюдателя и красным смещением электромагнитного сигнала от объекта в статичной Вселенной все же допускается в качестве своего рода эвристического принципа (см. [Lopez-Corredoira, 2010]).

Что касается площади S сферической поверхности, то здесь необходимо учитывать два фактора – эффект эволюции масштабного фактора Вселенной со временем и характер пространственной геометрии Вселенной. Удобно использовать безразмерную меру θ удаленности наблюдаемого объекта от современного наблюдателя:

$$\theta(t) = \int_t^{t_0} d(c\tau)/a(\tau)$$

где t_0 – современный возраст Вселенной, t – ее текущий возраст (соответствующий некоторой величине z красного смещения), $a(t)$ – в данной формуле: текущий радиус Вселенной, численно равный ее масштабному фактору (поскольку $a(t_0) = 1$). Нетрудно заметить, что выражение под интегралом в закрытой модели представляет собой тангенс центрального угла расширяющейся сферы, т.е. (в пределе) малое приращение самого этого угла при малом же приращении радиуса. Поэтому интеграл можно считать полной величиной соответствующего угла, выраженного в радианах.

На самом деле нас интересует не параметр $\theta(t)$, а другой параметр – $\theta(z)$. Очевидно, что он *зависит* от того, *как именно* меняется параметр z с течением времени. Зная его, можно выразить площадь интересующей нас поверхности $S(z)$. Это сделано в табл. 1.

Таблица 1

Определение площади ограничивающей поверхности для различных геометрических моделей Вселенной

Сферическая (замкнутая) модель	Плоская модель	Гиперболическая (открытая) модель
$S \sim [a(z) \cdot \sin \theta(z)]^2$	$S \sim [a(z) \cdot \theta(z)]^2$	$S \sim [a(z) \cdot \text{sh } \theta(z)]^2$

Дальнейшие модельные рассуждения зависят от выбора закона, по которому *поверхностная концентрация галактик на такой поверхности* изменяется по мере эволюции Вселенной. Ниже мы ограничимся двумя простейшими гипотезами.

Первая гипотеза исходит из того, что *полное* число галактик во Вселенной не изменяется в ходе ее эволюции, т.е. не зависит от величины красного смещения. В этом случае при увеличении масштабного фактора $a(z)$ галактики “разбегаются”, объемная плотность галактик обратно пропорциональна кубу масштабного фактора (поверхностная плотность – обратно пропорциональна квадрату этого фактора), а новых галактик практически не возникает, или их появление компенсируется исчезновением прежних. В этом случае поверхностная плотность галактик будет равна

$$n(z) = n_0/[a(z)]^2$$

где n_0 – поверхностная плотность галактик в современную эпоху, $a(z)$ – масштабный фактор.

Согласно второй гипотезе, *неизменной* предполагается *плотность* галактик² в единице объема (и на единице поверхности), т.е. $n(z) = \text{const}$. Это означает, что, наряду с разбеганием уже существующих галактик (о чем говорит закон Хаббла), все время *возникают новые галактики*, которые заполняют свободные области Вселенной.

Скорее всего, оба предположения являются неточными, и окончательный ответ дадут только результаты наблюдений.

2. Закон распределения галактик в СКМ

Рассмотрим теперь стандартную космологическую модель (СКМ), которая предполагает, что Вселенная пространственно *бесконечна* и обладает *плоской* геометрией (этот вывод делается на основании оптимальной аппроксимации значений предполагаемых космологических параметров по данным наблюдений). Вот типичное описание этой модели, взятое из известной книги [Greene, 2004]:

... если вселенная пространственно бесконечна, уже имеется бесконечная пространственная протяженность в момент Большого взрыва... В такой обстановке Большой взрыв не имел места в одной точке; напротив, Большой взрыв имел место везде на бесконечной протяженности. По сравнению с обычным точечным началом, это похоже на много Больших взрывов в каждой точке бесконечной пространственной протяженности. После Взрыва пространство раздувалось, но его общий размер не возрастал, поскольку нечто, уже бесконечное, не может стать еще больше. Что возрастало, так это расстояния между объектами вроде галактик (как только они сформировались).

Правда, в этой связи хочется задать вопрос, ответ на который вряд ли удастся получить: если в *начальный* момент все расстояния равны *нулю*, то как можно отрицать, что все взрывы все же имели место в одной *единственной* точке, а не во множестве удаленных одна от другой на *ненулевое* расстояние точек?

В такой модели, очевидно, $N(z)$ пропорционально квадрату введенной нами величины θ , характеризующей удаленность наблюдаемого объекта от современного наблюдателя. Эта величина определяется в СКМ с помощью численного интегрирования (см., например, [Palash, 1999]). Для ее определения через время пролета фотонов могут быть использованы также готовые "космологические калькуляторы" (<http://www.astro.ucla.edu/~wright/CosmoCalc.html>).

С другой стороны, $N(z)$ зависит и от выбора между упомянутыми выше гипотезами относительно эволюции или постоянства пространственной плотности галактик. Если принять первую гипотезу (полное число галактик во Вселенной постоянно), то на искомое распределение эволюция масштабного фактора вообще не влияет, т.к. множитель $[a(z)]^2$ входит и в знаменатель $n(z)$, и в числитель $S(z)$, т.е.

$$N_1(z) \sim [\theta(z)]^2$$

Если же мы исходим из второй гипотезы (объемная плотность галактик постоянна), то необходимо учесть также и эволюцию поверхностной плотности галактик (она пропорциональна $[a(z)]^2$, так что распределение имеет вид:

$$N_2(z) \sim [a(z)]^2 [\theta(z)]^2$$

² Отметим, что гипотеза о постоянстве плотности галактик в единице объема используется, например, в книге [Клапдор-Клайнротхаус, Цюбер, 2000].

Результаты расчетов представлены на рис. 2 (первой гипотезе соответствует *синяя* кривая, второй гипотезе – *красная* кривая (кривые представлены в различном масштабе по оси ординат). Синяя кривая монотонно возрастает совсем не похожа на реально наблюдаемое распределение. Красная же кривая имеет максимум примерно при $z=1.5$ и качественно соответствует наблюдаемой форме распределения.

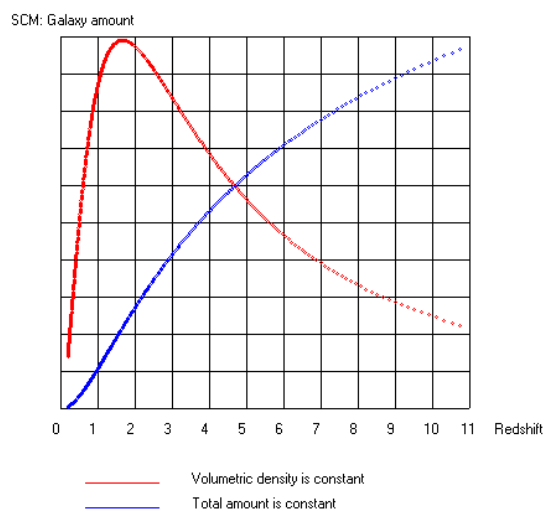


Рисунок 2.

Теоретическое распределение числа галактик (Galaxy amount) в зависимости от величины красного смещения (Redshift) в моделях СКМ (SCM): *синяя* кривая, если постоянно полное число галактик во Вселенной, *красная* кривая, если постоянна плотность галактик в единице объема (кривые представлены в различном масштабе по оси ординат)

3. Закон распределения галактик в ТШРВ

С 1993 г. разрабатывается альтернативная к СКМ космологическая модель, суть которой изложена, в частности, в работе [Шульман, 2007а], а эффективные предсказания, успешно конкурирующие с предсказаниями СКМ – в публикациях [Шульман, 2007б], [Шульман и Рэффел, 2008], [Шульман, 2010]. Эта модель получила название теории шаровой расширяющейся Вселенной (ТШРВ, SEUT). Эволюция Вселенной в этой модели описывается 4-мерным конусом с прямолинейной образующей (т.е. с линейной зависимостью радиуса Вселенной от ее возраста). Пространственное сечение этого конуса в каждый момент времени представляет собой 3-мерную неевклидову гиперповерхность 4-мерного шара (рис. 3). Замкнутая геометрия пространственного сечения конуса обусловлена тем, что в ТШРВ средняя плотность материи во Вселенной заведомо больше критической.

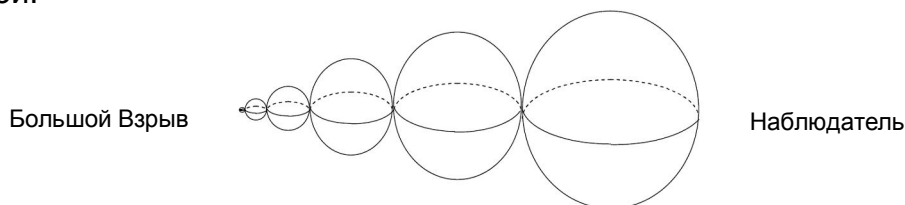


Рисунок 3.

Модель расширяющейся замкнутой Вселенная в ТШРВ

В этой модели распределение $N(z)$ заведомо оказывается немонотонным, т.е. обязательно имеет максимум при некотором значении величины красного смещения. Чтобы увидеть это, используем сначала первую из упомянутых выше гипотез, согласно которой полное число галактик остается неизменным, и эволюция размера Вселенной в конечном счете не влияет на распределение $N(z)$. Рассмотрим прежде аналогичную, но значительно более наглядную задачу – закон изменения *длины окружности*, ограничивающей часть неевклидовой поверхности сферы *постоянного* радиуса R (рис. 4).

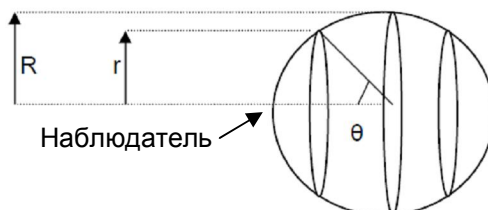


Рисунок 4.

Эволюция длины окружности при движении слева направо

Легко видеть, что при движении (от наблюдателя) слева направо длина $2\pi r$ “малой” окружности сначала возрастает от 0 до максимального значения $2\pi R$, а затем снова убывает до нуля (напомним, что длина окружности на *евклидовой* плоскости возрастает с радиусом *монотонно* и *неограниченно*). Величину радиуса r “малой” окружности можно считать функцией линейного центрального угла θ большого сечения сферы (рис.4), где θ изменяется от 0 до π .

В этой 2-мерной аналогии мы мысленно поместили наблюдателя в самой левой точке сферы, а на *малой окружности* радиуса $r = R \sin \theta$ находится наблюдаемый объект, испускающий электромагнитный сигнал. В реальной 3-мерной ситуации, вместо равноудаленных от наблюдателя точек *малой окружности*, мы должны говорить о точках *малой сферы*. Если *длина* малой окружности в 2-мерной аналогии равнялась $[2\pi R \sin \theta]$, то в 3-мерном случае *площадь* такой неевклидовой *малой поверхности* равняется $[4\pi R^2 \sin^2 \theta]$, при $\theta = \pi/2$ эта площадь максимальна и равна площади поверхности обычной 3-мерной сферы радиуса R . Именно величина этой площади и определяет в данном случае число галактик, расположенных от наблюдателя на расстоянии, соответствующем данному z :

$$N_3(z) \sim \sin^2 \theta$$

Как показано в работе [Шульман и Рэффел, 2008], угол θ (в радианах) в ТШРВ равен

$$\theta(z) = \ln [a(0)/a(z)],$$

где $a(z)$ – масштабный фактор³ Вселенной для текущей величины красного смещения z .

Если же мы будем исходить из второй гипотезы, в которой неизменными полагаются объемная и поверхностная *плотность* галактик, то мы должны учитывать и размер Вселенной для каждого данного значения z . Этот учет осуществляется простым умножением найденного выше значения площади малой поверхности на квадрат текущего значения масштабного фактора Вселенной, т.е.:

³ В ТШРВ масштабный фактор $a(z)$ пропорционален текущему возрасту Вселенной

$$N_4(z) \sim a^2 \sin^2 \theta$$

Распределения, отвечающие модели ТШРВ и двум упомянутым гипотезам, представлены на рис. 5. Как и должно быть, максимум для красной кривой (для которой дополнительно учитывается уменьшение масштабного фактора Вселенной с ростом величины z) расположен левее ($z=1.2$), чем для синей ($z \approx 4$). И в этом случае красная кривая достаточно хорошо аппроксимирует реально наблюдаемую зависимость.

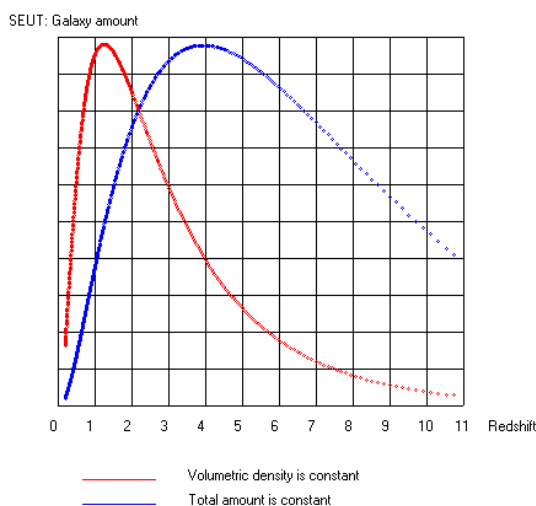


Рисунок 5.

Теоретическое распределение числа галактик (Galaxy amount) в зависимости от величины красного смещения (Redshift) в моделях ТШРВ (SEUT):
синяя кривая, если постоянно полное число галактик во Вселенной
красная кривая, если постоянна плотность галактик в единице объема
(кривые представлены в различном масштабе по оси ординат)

4. Заключение

Полученные нами результаты показывают, что решающую роль играет не геометрия модели (СКМ с плоской метрикой или ТШРВ со сферической метрикой), а гипотеза о законе эволюции числа галактик во Вселенной.

Так, гипотеза о *постоянстве полного числа галактик* во Вселенной на протяжении ее эволюции не позволяет получить качественного совпадения с реально наблюдаемым распределением ни в СКМ, ни в ТШРВ, при этом соответствующие предсказания существенно различаются и между собой.

В то же время использование альтернативной гипотезы, согласно которой на протяжении эволюции Вселенной поддерживается *неизменной пространственной плотность галактик*, позволяет получить в рамках обеих моделей практически одинаковое распределение, которое достаточно близко к реально наблюдаемому.

Литература:

[Barger et al., 2008] A. J. Barger, L. L. Cowie, W.-H. Wang. A HIGHLY COMPLETE SPECTROSCOPIC SURVEY OF THE GOODS-N FIELD. ArXiv:0812.2481v1 [astro-ph] 12 Dec 2008

- [Greene, 2004]** Brian R. Greene. The fabric of the cosmos: space, time and the texture of reality. Random House, Inc., New York, 2004. Русский перевод: Брайан Грин. Ткань космоса: Пространство, время и структура реальности. УРСС, М., 2006
- [Lopez-Corredoira, 2010]** Lopez-Corredoira M. Angular size test on the expansion of the Universe. ArXiv:1002.0525v1 [astro-ph.CO] 2 Feb 2010. Реферат на русском языке “Угловой размер как тест расширения Вселенной” доступен по ссылке: www.timeorigin21.narod.ru/rus_translation/Galaxies_angle_size.pdf
- [Palash, 1999]** Palash B. Pal. Determination of cosmological parameters: an introduction for non-specialists. arXiv:hep-ph/9906447 v1 22 Jun 1999. Русский перевод: Определение космологических параметров: введение для неспециалистов доступен по ссылке http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_translation/Palash.pdf
- [Steidel et al., 2004]** Steidel, C. C., Shapley, A. E., Pettini, M., Adelberger, K. L., Erb, D. K., Reddy, N. A., & Hunt, M. P. 2004, ApJ, 604, 534
- [Клапдор-Клайнротхаус, Цюбер, 2000]** Клапдор-Клайнротхаус Г. В., Цюбер К. *Астрофизика элементарных частиц*. Москва, Редакция журнала “Успехи физических наук”, 2000
- [Шульман, 2007а]** Шульман М.Х. Космология: новый подход. Доступно по ссылке: http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/New_approach.pdf
- [Шульман, 2007б]** Шульман М.Х. О проблеме пониженной светимости сверхновых. 2007. Доступно по ссылке: http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/svetimost.pdf
- [Шульман и Рэффел, 2008]** Шульман М.Х., Рэффел Г. О феномене старейших реликтовых фотонов. 2008. Доступно по ссылке: http://timeorigin21.narod.ru/rus_time/Oldest_photons_rus.pdf
- [Шульман, 2010]** Шульман М.Х. Расширение Вселенной и главный спектральный пик фонового космического излучения. 2010. Доступно по ссылке: http://timeorigin21.narod.ru/rus_time/Main_peak_rus.pdf