

© М.Х. Шульман, 2010 (shulman@dol.ru)

Расширение Вселенной и главный пик спектра фонового космического излучения

(05.06.2010, переработано 03.07.2010)

Аннотация

Стандартная космологическая модель утверждает, что наблюдательные данные подтверждают значимое отсутствие кривизны во Вселенной и, следовательно, равенство полной плотности материи ρ так называемому критическому значению ρ_0 . В настоящей статье указывается, что наблюдательные данные могут быть удовлетворительно интерпретированы независимо от типа пространственной метрики, так что альтернативная космологическая модель вполне может согласоваться с иным (в частности – сферическим, замкнутым) ее типом.

1. Введение

Как известно, стандартная космологическая модель (СМ) объясняет расположение наиболее высокого корреляционного пика температурных флуктуаций космического микроволнового фонового излучения (СМБР) при $\ell \approx 200$ (соответствует угловому размеру порядка 1°), используя представление о плоской пространственной геометрии Вселенной. На рис. 1 приведен фрагмент карты таких флуктуаций, на рис. 2 – полный спектр мощности температурных флуктуаций СМБР.

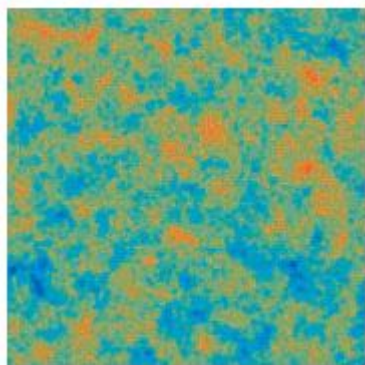


Рисунок 1 ([Wayne Hu, 2008])
Фрагмент карты температурных флуктуаций

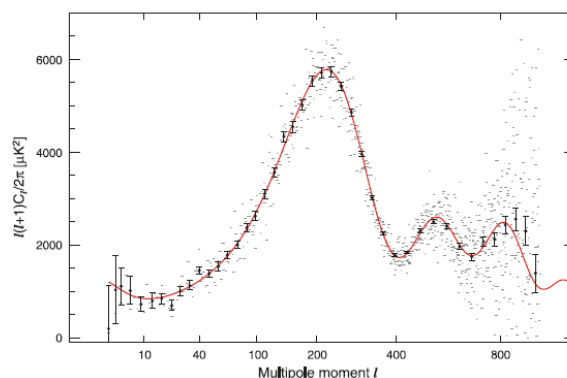


Рисунок 2 ([Dunkley et al., 2008]).

Спектр мощности температурных флуктуаций

Рассмотрим, как получается в СМ нужное значение угла и соответствующее значение ℓ (см. [Bersanelli et al., 2002], [Dunkley et al., 2008], [Samtleben et al., 2008], [Spergel et al., 2003], [Wayne Hu and Dodelson, 2002], [Wayne Hu, 2008], [Постнов]). Логика расчета принимается следующей:

- Угловой размер наблюдаемой современным наблюдателем некоторой области небосвода определяется путем вычисления тангенса угла, т.е. отношения размера этой области к пути, пройденному фотонами от нее до

наблюдателя. Если это отношение достаточно мало, то оно приблизительно равно самому углу, выраженному в радианах.

- Размер s_r области вычисляется на основе довольно сложной физической модели процессов, происходящих от момента Большого Взрыва $t=0$ вплоть до эпохи последнего рассеяния t_r (т.е. в диапазоне от $z=\infty$ до $z_r=1.1 \cdot 10^3$). Речь идет о *первой* гармонике флуктуаций температуры, поэтому подразумевается, что по порядку величины размер s_r просто равен размеру Вселенной в эпоху последнего рассеяния, т.е. при $t=t_r$.
- Путь $c\Delta t$, пройденный фотонами, пропорционален времени расширения Вселенной от эпохи последнего рассеяния ($t=t_r, z=z_r$) до современной эпохи ($t=t_0, z=0$). Пренебрегая временем, прошедшим от Большого Взрыва (при $z=\infty$) до эпохи последнего рассеяния (при $z=z_r$), можно считать, что $c\Delta t \approx ct_0$.
- В действительности в данном случае следует использовать не метрическое расстояние $d_M=c\Delta t$, а угловое расстояние $d_A = d_M / (1+z)$, которое учитывает расширение Вселенной за время между испусканием фотонов объектом и регистрацией фотонов наблюдателем. Поэтому рассчитанный угол необходимо умножить еще на множитель $(1+z)$:

$$\begin{aligned} \Theta &= (s_r / \sqrt{3}) / d_M = (1+z) ct_r / (\sqrt{3}c\Delta t) \approx \\ &\approx (1.1 \cdot 10^3 \cdot 3.3 \cdot 10^5) / (1.7 \cdot 13.7 \cdot 10^9) = \\ &= (3.6/2.4) \cdot 10^{-2} = 1.5 \cdot 10^{-2} \text{ рад} = 0.9^\circ \end{aligned}$$

(здесь коэффициент $\sqrt{3}$ обусловлен соотношением между амплитудами флуктуации гравитационного потенциала и флуктуации температуры.) Соответствующий мультипольный момент имеет номер $\ell = 180^\circ / 0.9^\circ = 200$.

Использование в качестве метрического (координатного) расстояния $c\Delta t$ допустимо лишь в случае плоской¹ Вселенной. В свою очередь, плоская метрика в СКМ подразумевает, что в уравнениях Эйнштейна – Фридмана для плотности материи ρ следует использовать так называемое критическое значение ρ_0 . И, наконец, как хорошо известно, в СКМ именно от соотношения между ρ и ρ_0 зависит не только тип *пространственной* метрики, но и характер эволюции Вселенной *во времени*.

2. Альтернативный способ вычисления местоположения главного спектрального пика CMBR

Однако существует метод вычисления положения максимального пика спектра мощности температурных флуктуаций CMBR, никак не связанный с гипотезой о *плоской пространственной метрике* Вселенной. Он весьма прост, его суть состоит в следующем: в эпоху последнего рассеяния звуковой горизонт полностью окружал воображаемого наблюдателя по всему периметру. За время, прошедшее с тех пор, длина волны ($\sim s_r$) основной гармонике колебаний не изменилась, тогда как размер Вселенной возрос в $(z+1)$ раз. Следовательно, во столько же раз увеличилась кратность этой гармонике для современного наблюдателя. Более точно, с учетом сделанного выше замечания, коэффициент

¹ В ином случае, как известно, возникает дополнительный множитель – с обычным синусом для замкнутой на себя пространственной геометрии, или гиперболическим синусом для открытой пространственной геометрии Вселенной.

пересчета равен $(z+1)/\sqrt{3}$. Это при $z=1100$ дает угол $\theta \approx 0.6^\circ$, что в точности соответствует данным наблюдений².

3. Альтернативная модель эволюции Вселенной

С 1993 года мною разрабатывается космологическая модель (см. [Шульман, 2007a]), альтернативная стандартной модели. Я назвал ее Теорией Шаровой Расширяющейся Вселенной (ТШРВ), а суть ее вкратце такова. Наша Вселенная рассматривается в качестве черной дыры в некоторой внешней супер-Вселенной (возможность этого допускал выдающийся американский физик Дж. Уилер, см. обсуждение и развитие идеи в [Smolin, 1994]). Поглощение черной дырой материи и энергии извне является необратимым процессом, если пренебречь возможностью “квантового испарения”. За счет этого возникает эффект расширения нашей Вселенной. Если также предположить, что Вселенная как целое не обладает ни электрическим зарядом, ни моментом вращения, то ее возрастающая масса будет строго пропорциональна ее гравитационному радиусу. Более того, эта масса с физической точки зрения оказывается единственным параметром, “маркирующим” состояния черной дыры, поэтому естественно ввести “параметрическое” время, пропорциональное массе и, как следствие, размеру. Для “внешнего” наблюдателя параметрическое время изменяется только тогда и ровно настолько, когда и насколько увеличивается масса черной дыры.

Запишем для “внутреннего” наблюдателя в такой Вселенной стандартные уравнения Эйнштейна-Фридмана, где временной координатой является как раз такое параметрическое время. В этой модели уже нельзя использовать закон сохранения энергии и массы, ведь масса непрерывно растет (впрочем, в настоящую эпоху относительная величина нарушения этого закона составляет за год всего лишь примерно 10^{-10}). Взамен этого граничного условия следует использовать другое – постулируемую пропорциональность между размером и возрастом Вселенной. В таком решении *зависимость характера расширения от типа пространственной метрики принципиально устраняется*. Как мы видели, это не приводит к реальному противоречию с наблюдательными данными.

Но не является ли параметрическое время всего лишь удобной математической абстракцией? Существует ли объективная основа для “восприятия” этого времени различными внутренними наблюдателями? Предлагаемый мною ответ состоит в том, что протяженность пространства и времени воспринимается каждым квантовым объектом во Вселенной благодаря наличию у него собственных “линейки” и “часов” – длины и периода индивидуальной волны де Бройля. Таким образом, для всех наблюдателей объективно возникает универсальное и необратимое течение времени наряду с оценкой протяженности временных и пространственных промежутков.

4. Сравнение моделей

Рассмотрим три простейшие модели космологической эволюции, представленные на рис. 3 в виде конусов. Вершина каждого конуса соответствует Большому Взрыву, а нижнее основание конуса – *текущему* пространственному сечению, т.е. схематическому изображению Вселенной в современную эпоху. Ось времени на верхних элементах рис. 3 направлена (в сопутствующей системе отсчета) вдоль *образующей* (меридиана) конуса от его вершины вниз к

² В позднейшем отчете по проекту WMAP [Komatsu et al., 2010] указано значение $\theta=0.6^\circ$, совпадающее с нашим результатом.

основанию, тогда как “мгновенным” состояниям Вселенной соответствуют “параллели”, перпендикулярные меридианам.

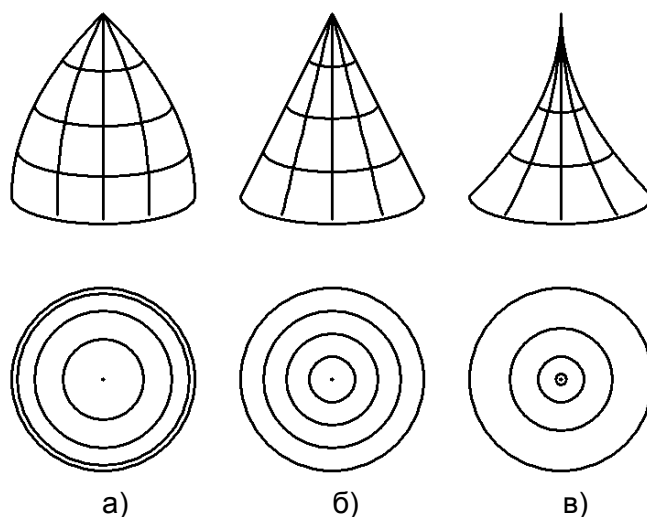


Рисунок 3.
Геометрическое представление расширяющейся Вселенной
(а) с замедляющимся расширением
(б) с равномерным расширением
(в) с ускоряющимся расширением

Для всех трех моделей на нашем рисунке Вселенная в каждый фиксированный момент времени упрощенно изображается *замкнутой* окружностью (в ТШРВ это означает, что расширяющаяся Вселенная в каждый момент времени *независимо от значения* r представляет собой *замкнутое* на себя 3-мерное многообразие, т.е. конечную 3-мерную *неевклидовую* гиперповерхность 4-мерного конуса). Когда мы рассматриваем пространственно-временное сечение этого конуса, содержащее его образующую, мы получаем право говорить о различных возможных моделях эволюции Вселенной (в СКМ они зависят от соотношения между r и r_0 , см. обзор [Palash, 1999]). На трех нижних элементах рис. 3 отражена соответствующая “неравномерность” расширения Вселенной.

На рис. 4 приведен закон изменения масштабного фактора (т.е. относительного размера a/a_0) Вселенной в функции безразмерного возраста $H_0 t$ (где H_0 – параметр Хаббла в настоящую эпоху) для двух космологических моделей ([Шульман и Рэффел, 2008]). Красная линия соответствует линейному закону эволюции (ТШРВ), при котором масштабный фактор растет строго пропорционально возрасту Вселенной, т.е. соответствует *прямолинейной* образующей эволюционного конуса на рис. 3. Синяя же кривая соответствует принятой в СКМ так называемой Λ CDM-модели ($\Omega_M = 0.25$, $\Omega_L = 0.75$, $\Omega_K = 0$). Образующая эволюционного конуса для нее расширяется (в отличие от фигур на рис. 3) с *переменным* по знаку ускорением.

На основе подбора “наилучших” значений параметров Ω_M , Ω_L и Ω_K для такой зависимости СКМ приходит к заключению, что в настоящую эпоху Вселенная *расширяется с ускорением*. Но с точки зрения ТШРВ дело обстоит по-другому: просто параметры синей кривой подобраны так, что она проходит через ту же самую конечную точку, что и красная линия. Последняя, напротив, предусматривает строго постоянный темп расширения Вселенной.

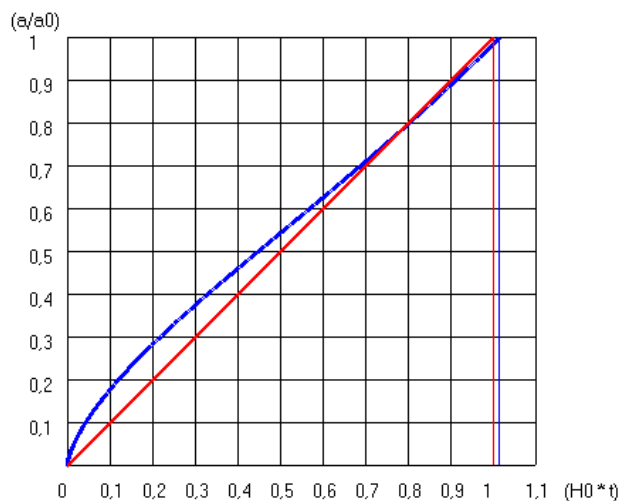


Рисунок 4

— Λ CDM-модель ($\Omega_M = 0.25$, $\Omega_L = 0.75$, $\Omega_k = 0$)
 — линейная модель (ТШРВ)

Следует отметить, что СКМ сталкивается с некоторыми фундаментальными проблемами (в частности, с проблемой энергии вакуума), в то время как объясняемые ею (за счет подбора значения космологического параметра Λ) важные космологические эффекты могут быть успешно интерпретированы в ТШРВ (см. [Шульман, 2007б]) без какой бы то ни было “ручной подгонки”. Кроме того, в ТШРВ может быть объяснено наличие пика в спектре мощности температурных флуктуаций СМВР при $\ell = 4 - 5$ (что в современной космологии пока не имеет никакого объяснения), а также делаются новые предсказания (см. [Шульман и Рэффел, 2008]).

Остается добавить, что космологическая идея о возможности линейной пропорциональности между размером и возрастом Вселенной независимо высказывается и другими авторами (см. [Кронов], [Barak and Leibowitz, 2009], [Benoit-Levy and Chardin, 2009], [Farley, 2010]).

Литература:

[Barak and Leibowitz, 2009] Shlomo Barak and Elia M Leibowitz. Cosmology and Astrophysics without Dark Energy and Dark Matter. ArXiv: astro-ph 0909.2581 v1, Submitted 14 September 2009

[Benoit-Levy and Chardin, 2009] Aurelien Benoit-Levy and Gabriel Chardin. Do we live in a Dirac-Milne Universe? ArXiv:0903.2446v1 [astro-ph.CO] 13 Mar 2009. Русский перевод доступен по ссылке:

www.timeorigin21.narod.ru/rus_translation/Dirac_Milne_Universe.pdf

[Bersanelli et al., 2002] Bersanelli, D. Maino and Mennella. Anisotropies of the Cosmic Microwave Background. arXiv:astro-ph/0209215 v2 27 Sep 2002].

[Dunkley et al., 2008] Dunkley et al. Five-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Likelihoods and Parameters from the WMAP data. ArXiv:astro-ph/0803.0586v1 5 Mar 2008

[Farley, 2010] Francis J.M. Farley. Does gravity operate between galaxies? Observational evidence re-examined. ArXiv:1005.5052v1 [astro-ph.CO] 27 May 2010
 Русский перевод: Ф. Фэрли. Действует ли гравитация между галактиками? Переосмысление данных наблюдений. Доступно по ссылке

http://timeorigin21.narod.ru/rus_translation\Galaxy_recession.pdf

[Komatsu et al., 2010] Komatsu et al. Seven-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Cosmological Interpretation. ArXiv: 1001.4538v2 [astro-ph.CO] 12 Feb 2010

[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

[Samtleben et al., 2008] Dorothea Samtleben, Suzanne Staggs and Bruce Winstein. The Cosmic Microwave Background for Pedestrians: A Review for Particle and Nuclear Physicists, arXiv:0803.0834v1 [astro-ph] 6 Mar 2008

[Smolin, 1994] Lee Smolin. The fate of black hole singularities and the parameters of the standard models of particle physics and cosmology. ArXiv:gr-qc/9404011v1 7 Apr 1994

[Spergel et al., 2003] D. N. Spergel et al. First Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Determination of Cosmological Parameters. ArXiv: astro-ph/0302209v3

[Wayne Hu and Dodelson, 2002] Wayne Hu and Scott Dodelson. Cosmic Microwave Background Anisotropies. Annu. Rev. Astron. and Astrophys. 2002. ArXiv: 0110414v1

[Wayne Hu, 2008] Wayne Hu. Lecture Notes on CMB Theory: From Nucleosynthesis to Recombination. arXiv:0802.3688v1 [astro-ph] 25 Feb 2008

[Кронов] Кронов Николай Александрович. Сайт <http://n-kronov.chat.ru/>

[Постнов] Постнов К.А. Лекции по общей астрофизике для физиков // 11.4 Реликтовое излучение и эпоха рекомбинации. Доступно по ссылке:

<http://www.astronet.ru:8101/db/msg/1170612/node60.html>

[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