

Проверка гипотезы о расширении Вселенной

М. Лопес-Корредойра (Испания)

Перевод М.Х. Шульмана (shulman@dol.ru, www.timeorigin21.narod.ru)

arXiv:1501.01487v1 [astro-ph.CO] 7 Jan 2015



PROCEEDINGS
OF SCIENCE

Tests for the Expansion of the Universe

Martín López-Corredoira (martinlc@iac.es)

Instituto de Astrofísica de Canarias, E-38205 La Laguna (Tenerife), Spain

Universidad de La Laguna, Dept. Astrofísica, E-38206 La Laguna (Tenerife), Spain

Frontiers of Fundamental Physics 14

15-18 July 2014

Aix Marseille University (AMU) Saint-Charles Campus, Marseille, France

Большинство космологов сегодня считает, что красное смещение галактик обусловлено расширением Вселенной (космологическое красное смещение), плюс в некоторой степени эффектом Доплера, вызванным пекулярными движениями. Автор делает обзор некоторых недавних тестов этой гипотезы по следующим критериям:

- температура космического микроволнового фонового излучения (CMBR) в зависимости от красного смещения,
- “растяжение” времени,
- диаграмма Хаббла,
- поверхностная яркость (тест Толмена),
- угловой размер,
- ультрафиолетовый предел поверхностной яркости,
- тест Alcock–Paczynski.

Некоторые тесты говорят в пользу расширения Вселенной, тогда как другие – в пользу статичной Вселенной. Большинство всех космологических тестов зависят от эволюции галактик и/или иных эффектов. Тесты Толмена или по критерию углового размера требуют предположения об очень сильной эволюции размеров галактик для согласования с данными стандартной космологии, тогда как тест Alcock–Paczynski (оценка отношения наблюдаемого углового размера к радиальному размеру по красному смещению) не зависит от него.

1. Обусловлено ли красное смещение расширением?

Лемэтр [1] и позже Хаббл [2] в 1929 году установили, что соотношение красное смещение (z) – видимая магнитуда для галактик показывает, что Вселенная расширяется. Хаббл высказывал опасение по поводу такой интерпретации, но последующие поколения космологов пришли к полной уверенности, что красное смещение галактик, подчиняющееся закону Хаббла, является окончательным подтверждением расширения. Однако существуют и альтернативные объяснения для красных смещений: например, сценарии

“утомленного (tired) света” [3], [4] (раздел 2.1), в котором предполагается, что фотон теряет энергию в ходе некоторого процесса взаимодействия фотон-материя или фотон-фотон во время распространения на какое-то расстояние. Эта идея имела две главные потенциальные проблемы: обычное рассеяние должно продуцировать помутнение галактик и зависимость красного смещения от частоты, однако ни то, ни другое не наблюдается. Обе проблемы решаются в экзотических нестандартных моделях рассеяния [4] (раздел 2.1). В любом случае главное состоит в отсутствии хорошей теории, основанной на стандартной физике и объясняющей возможный феноменологический факт этих альтернативных предложений, исходя из того, что общая теория относительности дала объяснение для космологического расширения, тогда как альтернативные предположения не основывались на какой-либо хорошо известной ортодоксальной теории, гипотеза о расширении была предпочтительной, так что альтернативные подходы обречены на забвение.

2. Наблюдательные тесты расширения Вселенной

Исходя из текущего красного смещения, существуют различные тесты для проверки того, является ли Вселенная расширяющейся или статичной:

1. Тест, связанный с зависимостью температуры космического микроволнового фонового излучения (CMBR) от красного смещения.

Температура CMBR может детектироваться косвенно при больших красных смещениях, если у объектов с высоким красным смещением обнаружены подходящие линии поглощения. Космология Горячего Большого Взрыва предсказывает, что температура, требуемая для возбуждения этих линий выше, чем при $z=0$, в $(1+z)$ раз.

Температура CMBR, измеренная для вращательного возбуждения некоторых молекул в функции от величины красного смещения [5, 6] весьма красноречиво свидетельствует в пользу расширения: результаты работы Noterdaeme et al. [6] с точно ожидаемой зависимостью $T=T_0(1+z)$ весьма впечатляют. Тем не менее, имеются другие результаты, которые не соответствуют этой зависимости [7, 8]. Расхождение может быть следствием зависимости от столкновительных возбуждений [5] или неразрешенной структуры [8].

2. Тест по критерию растяжения времени.

Часы, наблюдаемые нами, кажутся идущими в $(1+z)$ раз медленнее, если имеет место расширение. Используя источники с хорошо известной собственной периодичностью, мы должны ожидать, что их кривые светимости растягиваются по оси времени в $(1+z)$ раз.

Тесты по критерию растяжения времени для сверхновых типа Ia (SNIa) оказываются одними из наиболее успешных в пользу этого факта [9, 10], но все еще имеются некоторые проблемы интерпретации. Тот факт, что кривые светимости SNIa тем уже, чем краснее [11], представляется недостатком для очевидного теста, свободного от эффекта селекции. Было также указано на другие эффекты селекции [12, 13] [4] (Sec. 2) [14] (Sec. 7.8) и возможную совместимость с результатами космологических моделей из более широкого диапазона, включая статические. Более того, ни всплески рентгеновского

излучения (GRBs), ни квази-звездные объекты (QSOs) не показывают растяжения времени, что представляется загадочным.

3. Диаграмма Хаббла.

В течение многих десятилетий было известно, что диаграмма зависимости магнитуды светимости (с учетом К-коррекции) от расстояния для эллиптических галактик в скоплениях лучше соответствует статической модели, чем модели расширяющейся Вселенной [17]. Это несоответствие, однако, было разрешено с помощью концепции увеличения светимости при высоком красном смещении вследствие эволюции галактик.

Для SNIa [18] или GRBs [19] с предположительно отсутствующей эволюцией стандартная модель работает, учитывая ad hoc включение в модель константы, связанной с темной энергией. Тем не менее, и статическая модель Вселенной может быть адаптирована для этих данных [20, 21].

4. Тест Толмена по критерию поверхностной яркости.

Хаббл и Толмен [22] предложили так называемый тест Толмена, основанный на измерении поверхностной яркости. Галактика с красным смещением z изменяет свою поверхностную яркость пропорционально $(1+z)^{-n}$, где $n=4$ в случае, если Вселенная расширяется, и $n=1$ для статичной Вселенной.

Lubin & Sandage [23] в 2001 году объявили о получении определенного доказательства расширения Вселенной, используя тест Толмена при z до 0.9. Однако их результат скорее является не тестом Толмена, а говорит о том, что эволюция галактик может объяснить различие между результатами теста Толмена и предпочитаемой ими моделью, включающей расширение. Lerner [24] заметил, что Lubin & Sandage использовали весьма зависимую от эволюции схему К-коррекции со многими регулируемыми допущениями и параметрами корректировки наблюдаемой при высоком z поверхностной яркости. Crawford [13] также указал, что Lubin & Sandage выполнили некорректный анализ для исключения статического решения, смешав модели Большого Взрыва и “утомленного света”.

Далее, другие более поздние Толмен-тесты [24, 13, 25] свидетельствуют в пользу статичной Вселенной без необходимости учета эволюции галактик, причем некоторые из них были выполнены для $z \sim 5$ с фильтрами для различных длин волн, так что не было необходимости в К-коррекции.

5. Тест на зависимость углового размера от красного смещения.

Угловой размер (θ) галактики с данным линейным размером может быть разным в зависимости от того, расширяется ли Вселенная или она статична. Разными авторами [17, 26, 20] были сделаны тесты, и все из них как в радиодиапазоне, так и в инфракрасных и видимых лучах, показывают, что в диапазоне красного смещения до 3 зависимость $\theta \sim z^{-1}$ статический подход для евклидовой модели оправдывается на всех масштабах. Этот результат не может быть согласован со стандартной космологической моделью, пока мы не предполагаем сильную эволюцию радиусов галактик, которые соответственно компенсируют разность: галактики с одной и той же светимостью должны быть

в 6 раз меньше при $z=3.2$ чем при $z=0$ [20]. Ни гипотезы, согласно которым ранее сформировавшиеся галактики имели намного более высокие плотности, ни эволюция их светимости, отношение слияний, или массивные потоки, обусловленные механизмом обратного воздействия квазаров, не являются достаточными, чтобы объяснить столь сильную эволюцию размера [20]; кроме того, дисперсия скоростей должна быть намного выше наблюдаемой в действительности [20]. Статичная же Вселенная согласуется с наблюдениями без каких-либо используемых ad hoc [специально подобранных- МХШ] аргументов. Однако эта интерпретация должна использоваться с осторожностью из-за неопределенности относительно характера эволюции размера галактик.

6. Тест на поверхностную яркость в ультрафиолетовой области.

Lerner [24] предложил тест эволюционной гипотезы, который также полезен в данном случае. Существует предел ультрафиолетовой поверхностной яркости (ultraviolet surface brightness – UV SB) галактики, потому что поверхностная плотность горячих ярких звезд и сверхновых растёт, большое количество пыли производит с поглощением ультрафиолета за исключением того, который образует тонкий слой. Дальнейший рост поверхностной плотности горячих ярких звезд за пределами данной точки на самом деле продуцирует больше пыли и более тонкий поверхностный слой, а не приводит к росту UV SB. Основываясь на этом принципе, должен иметь место максимум UV (в состоянии покоя) SB независимо от красного смещения. Это было проанализировано при большом красном смещении [24, 20], в результате оказалось, что для собственного UV SB должен быть запрещен уровень менее (= гораздо ярче) чем $18.5 \text{ mag}_{AB}/\text{arcsec}^2$ для эволюции, требуемой стандартной моделью для совместимости с тестом Толмена или тестом на угловой размер. Однако для статичной модели этот уровень должен лежать в обычно ожидаемом диапазоне. Lerner [24] также аргументирует, почему альтернативные объяснения (пониженное производство пыли при большом красном смещении, потоки и другие сценарии) неприемлемы. Тем не менее гипотеза Lerner о максимуме UV SB может оказаться неверной, так что это должно исследовано далее, прежде чем делать окончательные выводы относительно этого теста.

7. Тест Alcock–Paczynski.

Исходя из сферически симметричного распределения объектов с радиусом вдоль линии зрения $s_{\parallel} = \Delta z \frac{d_{\text{com}}(z)}{dz}$ и радиусом, перпендикулярным этой линии $s_{\perp} = \Delta\theta(1+z)^m d_{\text{ang}}(z)$ (где $m=1$ для расширяющейся модели и $m=0$ для статической модели), отношение $y \equiv \frac{\Delta z}{z\Delta\theta} \frac{s_{\perp}}{s_{\parallel}}$ зависит от космологического сопутствующего расстояния $d_{\text{com}}(z)$ и углового расстояния $d_{\text{ang}}(z)$ и не зависит от эволюции галактик, но зависит также от искажений красного смещения, связанными с пекулярными скоростями при гравитационном падении [27].

Лопес-Корредойра [27] измерил $y(z)$ с помощью анализа анизотропной функции корреляции источников в нескольких обзорах, используя методологию для разделения динамических и геометрических искажений, а также учел другие значимые факторы, доступные из литературы. Для шести различных космологических моделей (общепринятую Λ CDM, Эйнштейна-де Ситтера,

открытую фридмановскую космологию без темной материи, плоскую квази-стационарную космологию, статичную Вселенную с линейным законом Хаббла и статичную Вселенную с красным смещением для утомленного света) только две из них соответствовали тесту Alcock–Paczynski; в то же время остальные ему не соответствовали с уровнем доверия >95%. Дальнейший анализ данных с использованием акустических барионных осцилляций (BAO) улучшил результаты теста и дает нам более точные ограничения, но пока еще не исключает ни статичной модели, ни модели с расширением [28].

3. Выводы

Таблица 1 суммирует итоги анализа. Очевидно, победителя пока нет. Первые два теста говорят в пользу расширения, тогда как последующие четыре теста более или менее могут свидетельствовать в пользу статичного решения, хотя не дают окончательного основания для отклонения расширения. Большинство космологических тестов не связаны с механизмом эволюции галактик и/или другими эффектами. Тест Толмена и тест на угловой размер подразумевают весьма сильную эволюцию размеров галактик для согласования со стандартной космологией, тогда как тест Alcock–Paczynski не зависит от модели эволюции галактик.

Таблица 1. Космологические тесты

Тест	Модель с расширением	Статичная модель
$T_{\text{CMBR}}(z)$	Хорошее согласие	Превышение температуры при больших z вследствие столкновительного возбуждения или неразрешенной структуры
Растяжение времени	Хорошее согласие для SN Ia. Необъяснимое отсутствие растяжения времени для квазаров и гамма-всплесков	Эффекты селекции, или модификация по случаю теории или нулевой точки при калибровке, или эволюция периодов сверхновых
Диаграмма Хаббла	Требует введения темной энергии и/или эволюции	Хорошее согласие для галактик. Хорошее согласие для Сверхновых в некоторых моделях
Тест Толмена (SB)	Требует сильной эволюции поверхностной яркости	Хорошее согласие
Угловой размер	Требует слишком сильной эволюции угловых размеров	Хорошее согласие
Предел UV SB	Слишком значительная ультрафиолетовая поверхностная яркость при больших z	С ограничениями
Тест Alcock–Paczynski	Хорошее согласие	Хорошее согласие для модели утомленного света

Ссылки

- [1] G. Lemaître, *Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques*, *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles* **A47** (1927), 49.
- [2] E. P. Hubble, *A Relation between Distance and Radial Velocity among Extra-Galactic Nebulae*, *Proc. US Nat. Acad. Sci.* **15** (1929) 168.
- [3] J. V. Narlikar, *Non-cosmological redshifts*, *Space Science Reviews* **50** (1989) 523.
- [4] M. López-Corredoira, *Observational Cosmology: caveats and open questions in the standard model*, in *Recent Research Developments in Astronomy and Astrophysics I*, S. G. Pandalai, Ed., Research Signpost, Kerala, p. 561 (2003).
- [5] P. Molaro, S. A. Levshakov, M. Dessauges-Zavadsky, S. D'Odorico, *The cosmic microwave background radiation temperature at zabs = 3.025 toward QSO 0347-3819*, *Astron. Astrophys.* **381** (2002) L64.
- [6] P. Noterdaeme, P. Petitjean, R. Srianand, C. Ledoux, S. López, *The evolution of the cosmic microwave background temperature. Measurements of TCMB at high redshift from carbon monoxide excitation*, *Astron. Astrophys.* **526** (2011) L7.
- [7] J. Krelowski, G. Galazutdinov, P. Gnacinski, *CN rotational excitation*, *Astron. Nachrichten* **333** (2012) 627.
- [8] M. Sato, M. J. Reid, K. M. Menten, C. L. Carilli, *On Measuring the Cosmic Microwave Background Temperature at Redshift 0.89* *Astrophys. J.* **764** (2013) 132.
- [9] G. Goldhaber, D. E. Groom, A. Kim, et al., *Timescale Stretch Parameterization of Type Ia Supernova B-Band Light Curves*, *Astrophys. J.* **558** (2001) 359.
- [10] S. Blondin, T. M. Davis, K. Krisciunas, et al., *Time Dilation in Type Ia Supernova Spectra at High Redshift*, *Astrophys. J.* **682** (2008) 724.
- [11] S. Nobili, A. Goobar, *The colour-lightcurve shape relation of type Ia supernovae and the reddening law*, *Astron. Astrophys.* **487** (2008) 19.
- [12] S. P. Leaning, *New Analysis of Observed High Redshift Supernovae Data Show that A Majority Of SN1a Decay Lightcurves can be Shown to Favourably Compare with a non Dilated Restframe Template*, in *1st Crisis in Cosmology Conference* (AIP Conf. Ser. 822(1)), E. J. Lerner, J. B. Almeida, Eds., AIP, Melville, p. 48 (2006).
- [13] D. Crawford, *Observational Evidence Favors a Static Universe (Part I)*, *J. Cosmology* **13** (2011) 3875.
- [14] P. A. LaViolette, *Subquantum kinetics: The Alchemy of Creation*, 4th ed., Starlane Publ., Niskayana (NY, US) (2012).
- [15] D. Crawford, *No Evidence of Time Dilation in Gamma-Ray Burst Data* (2009), arXiv:0901.4169.
- [16] M. R. S. Hawkins, *On time dilation in quasar light curves*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **405** (2010) 1940.
- [17] P. A. LaViolette, *Is the universe really expanding?*, *Astrophys. J.* **301** (1986) 544.
- [18] M. Kowalski, D. Rubin, G. Aldering, et al., *Improved Cosmological Constraints from New, Old, and Combined Supernova Data Sets*, *Astrophys. J.* **686** (2008) 749.
- [19] H. Wei, *Observational constraints on cosmological models with the updated long gamma-ray bursts*, *J. Cosm. Astropart. Phys.* **8** (2010) 20.
- [20] M. López-Corredoira, *Angular-size test on the expansion of the Universe*, *Int. J. Mod. Phys. D* **19** (2010) 245.
- [21] L. A. Marosi, *Hubble Diagram Test of Expanding and Static Cosmological Models: The Case for a Slowly Expanding Flat Universe*, *Advances in Astronomy* **2013** (2013), id. 917104.
- [22] E. P. Hubble, and R. C. Tolman, *Two Methods of Investigating the Nature of the Nebular Redshift*, *Astrophys. J.* **82** (1935) 302.

- [23] L. M. Lubin, and A. Sandage, *The Tolman Surface Brightness Test for the Reality of the Expansion. IV. A Measurement of the Tolman Signal and the Luminosity Evolution of Early-Type Galaxies*, *Astron. J.* **122** (2001) 108.
- [24] E. J. Lerner, *Evidence for a Non-Expanding Universe: Surface Brightness Data From HUDF*, in *First Crisis in Cosmology Conference* (AIP Conf. Proc. 822), E. J. Lerner, J. B. Almeida, Eds., AIP, p. 60 (2006).
- [25] E. J. Lerner, R. Falomo and R. Scarpa, *UV surface brightness of galaxies from the local Universe to $z \sim 5$* , *Int. J. Mod. Phys. D* **23** (2014) id. 1450058.
- [26] V. K. Kapahi, *The angular size-redshift relation as a cosmological tool*, in *Observational Cosmology* (IAU Symp. 124), A. Hewitt, G. Burbidge, and L. Z. Fang, Eds., Reidel, Dordrecht, p. 251 (1987).
- [27] M. López-Corredoira, *Alcock-Paczyński cosmological test*, *Astrophys. J.* **781** (2014) 96.
- [28] M. López-Corredoira and F. Melia. *Alcock-Paczyński cosmological test with BAO peak*, in preparation.