

Космологическое красное смещение в пространстве-времени постоянной кривизны с метрикой Фридмана-Робертсона-Уокера

Ф. Мелиа (США)

Реферат подготовил М.Х. Шульман (shulman@dol.ru)

arXiv:1202.0775v1 [astro-ph.CO] 3 Feb 2012

Cosmological Redshift in FRW Metrics with Constant Spacetime Curvature

Fulvio Melia (John Woodruff Simpson Fellow. E-mail: melia@as.arizona.edu)

Department of Physics, The Applied Math Program, and Department of Astronomy, The University of Arizona, AZ 85721, USA

Стандартная космология основывается на метрике Фридмана-Робертсона-Уокера (FRW) для пространственно однородного и изотропного пространства с метрикой вида

$$ds^2 = c^2 dt^2 - a^2(t)[dr^2(1 - kr^2)^{-1} + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2)].$$

Фактор расширения $a(t)$ является функцией космологического времени t . Такое представление собственного расстояния в виде произведения универсального фактора расширения (не зависящего от положения) и неизменного набора космологических координат часто интерпретируется как положение о том, что само пространство динамически эволюционирует, расширяясь со временем.

Однако эта точка зрения не является универсально общепринятой, поскольку различие между этой ситуацией (которой частицы как бы фиксированы в расширяющемся пространстве) и альтернативной интерпретацией (частицы движутся в фиксированном пространстве) носит более серьезный характер, нежели выбор семантического описания. Каждая картина предлагает свой набор следствий, некоторые из которых рассматривались ранее (см., например, Chodorowski, 2007).

В стандартной формулировке космологического красного смещения предполагается, что его параметр z обусловлен вышеупомянутым “растяжением” пространства, поскольку он как бы отличается от встречавшихся ранее видов красного смещения – эффекта Доплера и гравитационного красного смещения. Или речь идет просто о различных формулировках и интерпретациях, связанных просто с выбором координат?

Иными словами, можно ли использовать другие системы координат, чтобы представить космологическое красное смещение в виде, более сходном с традиционным представлением с помощью функции эволюции (lapse function), используемым в других приложениях общей теории относительности?

Космологическое красное смещение имеет один и тот же вид, если выразить его через фактор расширения Вселенной, независимо от того, постоянна или нет кривизна пространства-времени. В данной статье автор фокусирует свое внимание на шести статических моделях с метрикой FRW и показывает, что интерпретация параметра красного смещения z как результата “растяжения света” в расширяющемся пространстве зависит от координат. При вычислении с помощью альтернативной системы координат красное смещение содержит в точности те же самые компоненты – Доплер-эффект и гравитационное смещение

– что и те, которые следует ожидать из вычисления функции эволюции в других приложениях общей теории относительности. Возможно, что это соответствие может не выполняться для нестатичных FRW-метрик, но трудно понять, по каким причинам, поскольку выражение для z через фактор расширения $a(t)$ одинаково во всех случаях. Отметим, что представленное здесь доказательство имеет частичный характер. Остается выяснить, сохраняет вид функция эволюции красного смещения даже при переменной кривизне пространства-времени.

Есть много причин, почему различие между расширяющимся пространством и пространством с фиксированным масштабным фактором, в котором движутся частицы, динамически значимо. Например, иногда можно услышать утверждения, что в космологических масштабах свет может переноситься на большие расстояния быстрее, чем со скоростью c . Обоснованием этого служит то, что скорость света ограничена величиной c только в инерциальной системе отсчета, но пространство расширяется, и свет может переноситься с более высокой скоростью. Однако несложно понять, что такие представления возникают из-за неправильного использования системы координат. В общей теории относительности скорость, измеренная наблюдателем, является собственной скоростью, вычисляемой через собственное расстояние и собственное время. Для света интервал ds равен нулю и, следовательно, скорость всегда равна c . Только несобственная скорость, измеренная одиночным наблюдателем по своей линейке и своим часам, может отличаться, потому что величина $\eta = a(t)r$ является “коллективным” расстоянием (a community distance), составленным из бесконечного числа вкладов мириадом наблюдателей (см., например, Weinberg 1972). Демонстрация того, что z не является следствием растяжения пространства, подтверждает эти выводы благодаря устранению возможности для света “распространяться” со сверхсветовой скоростью при расширении Вселенной.

Хотя приведенный вывод, относящийся к природе космологического красного смещения, доказан лишь частично, мы, однако, можем теперь обратить эти результаты и задать вопрос противоположного характера. Если реально существует третий механизм формирования красного смещения (помимо Доплер-эффекта и гравитации), почему мы не наблюдаем его в статичной FRW-метрике? В конце концов, пространство-время FRW с постоянной кривизной так же удовлетворяют уравнению

$$1 + z = \frac{a(t_o)}{a(t_e)}$$

как и все остальные. Но если это уравнение показывает, что z возникает из растяжения света в расширяющемся пространстве, то это должно иметь место вне зависимости от того, статична метрика или нет.

В близкой по тематике работе (Chodorowski, 2011) ее автор использует весьма отличный способ для получения сходных с нашими выводов. Тот факт, что эти два подхода приводят к одним и тем же выводам придает дополнительную значимость тезису о том, что космологическое красное смещение не является новым видом расширения длины волны, помимо кинематического и гравитационного эффектов. Подход Chodorowski красиво дополняет наш, потому что при выводе используются очень разные системы координат. Мы рассмотрели метрики, которые могут быть представлены в статическом виде, хотя преобразованные координаты не обязательно описывают локальную инерциальную систему отсчета. Кроме того, через эти координаты может выражаться скорость источника, если только мы корректно используем собственное расстояние и собственное время для вычисления (собственной)

скорости. (Кстати, это именно то, что мы обычно делаем с метриками Шварцшильда и Керра.) Тогда разложение на составляющие космологического красного смещения базируется на этой собственной скорости. Если в этой координатной системе скорость равна нулю, то растяжение времени целиком обусловлено кривизной (гравитацией), но космологическое красное смещение в общем случае включает в себя второй фактор, обусловленный движением источников в потоке Хаббла. Chodorowski вместо этого выбирает параллельный перенос скорости источника в локальную инерциальную систему отсчета центрального наблюдателя, придавая таким образом смысл вычислению “доплеровского” красного смещения (как он это называет) в данной системе отсчета, тогда как “остальной” эффект возникает благодаря влиянию кривизны.

Разумеется, интересно, является ли это следствием того, что две системы координат различны (одна инерциальна, другая нет), оба разложения в общем случае не равны, но конечные результаты одинаковы, как и должно быть вследствие общности физической парадигмы. Демонстрация того, что z описывается функцией эволюции даже для зависимой от времени метрикой FRW, представляет собой своего рода вызов. Но, учитывая важность понимания природы красного смещения, это необходимо сделать. Заметим в этой связи, что Mizony & Lachieze-Rey (2005) нашли способ преобразования метрики FRW в локальную статичную форму, которая интересным образом эквивалентна пространству де Ситтера в этой ограниченной области. Их подход может оказаться очень полезным промежуточным шагом в процессе нахождения глобальной функции эволюции в случаях, когда кривизна пространства-времени непостоянна. Мы исследуем этот вопрос в дальнейшем и надеемся в ближайшем будущем доложить о результатах этих усилий.

Ссылки:

- Abramowicz, M. A., Bajtlik, S., Lasota, J.-P. & Moudens, A., 2007, *Acta Astron.*, 57, 139
Baryshev, Yu. 2008, *Practical Cosmology, Proceedings of the International Conference “Problems of Practical Cosmology”, held at Russian Geographical Society, 2008 in St. Petersburg*, Edited by Yuriy V. Baryshev, Igor N. Taganov, and Pekka Teerikorpi, (TIN, St.-Petersburg), 20
Birkhoff, G. 1923, *Relativity and Modern Physics* (Cambridge: Harvard University Press)
Bunn, E. F. & Hogg, D. W. 2009, *Am. J. Phys.*, 77, 688
Chodorowski, M. J. 2007, *MNRAS*, 378, 239
Chodorowski, M. J. 2011, *MNRAS*, 413, 585
Cook, R. J. & Burns, M. S., 2009, *AJP*, 77, 59
Davis, T. M. & Lineweaver, C. H. 2004, *Pubs. Astron. Soc. Australia*, 21, 97
de Sitter, W. 1917, *Proc. Akad. Wetensch. Amsterdam*, 19, 1217
Florides, P. S. 1980, *Gen. Rel. Grav.* 12, 563
Harrison, E. R. 1995, *ApJ*, 446, 63
Lanczos, V. K. 1924, *Z. Phys.*, 21, 73
Melia, F. 2007, *MNRAS*, 382, 1917
Melia, F. & Abdelqader, M. 2009, *Int. J. Mod. Phys. D*, 18, 1889
Milne, E. A., 1933, *ZA*, 6, 1 (*Zeitschrift für Astrophysik*, Vol. 6, p. 1)
Mizony, M. & Lachieze-Rey, M. 2005, *AA*, 434, 45
Weinberg, S., 1972, *Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity*, (Wiley, New York)