

М. Х. Шульман

О РЕШЕНИИ ВАЖНЫХ ПРОБЛЕМ КОСМОЛОГИИ В РАМКАХ НОВОЙ КОСМОЛОГИЧЕСКОЙ ПАРАДИГМЫ

On an important cosmological problems solution in the frame of a new cosmological model

A modification of the Einstein – Friedmann cosmological model allows to solve such basic cosmological fundamental and observational problems as these ones: the vacuum energy and dark energy problems, horizon problem, flatness problem, supernovae low brightness at the high redshift ($z > 1$). In the proposed model frame the background relic radiation dipole anisotropy is explained, limits of the Relativity principle may be deduced. Also the generalized Neter's theorem and some hypothesis on the connection between the Universe insularity and its origin are formulated.

Аннотация

Определенная модификация космологической модели Эйнштейна – Фридмана позволяет решить такие фундаментальные концептуальные и наблюдательные проблемы космологии, как проблема энергии вакуума и темной энергии, горизонта, плоскостности, пониженной светимости сверхновых звезд при заметном красном смещении ($z > 1$). В рамках предложенной парадигмы объясняется дипольная анизотропия реликтового излучения, существование границ применимости принципа относительности, формулируются обобщенная теорема Нетер и гипотеза о связи замкнутости Вселенной с ее происхождением.

1. Введение

В начале 21-го века в основе теоретической космологии лежит модель расширяющейся Вселенной, основанная на уравнениях Эйнштейна – Фридмана (ЭФ-модель) и на представлении о 4-мерном пространстве-времени с одной мнимой (временной) и тремя вещественными (пространственными) координатами. При этом к настоящему времени уже осуществлены, продолжаются и намечены к осуществлению в ближайшее время большое количество проектов, реализующих огромный комплекс астрофизических измерений, что позволило сделать космологию экспериментальной наукой и определить значения важнейших космологических параметров.

Наряду с выдающимися успехами, современная космология содержит ряд внутренних проблем и концептуальных сложностей, которые активно обсуждаются научным сообществом. Укажем на некоторые из них. Это, как известно ([Сажин, 2002]), проблемы горизонта и плоскостности, решение которых, впрочем, предлагается различными теориями инфляции Вселенной. Это, далее, проблемы с использованием космологического члена, численное значение которого приходится подбирать на основе измерений, а сам факт его введения приводит к непреодолимым трудностям с величиной энергии вакуума.

Более того, я хотел бы указать на два принципиальных и связанных между собою факта, положенных в основу ЭФ-модели и практически никогда не подвергаемых сомнению в научной литературе. Во-первых, постулируется существование - в качестве особого феномена – времени (возраста Вселенной), функцией которого является масштабный фактор, т.е. глобальный радиус кривизны Вселенной. Во-вторых, постулируется закон сохранения массы Вселенной (сам по себе этот факт не следует из уравнений ЭФ), вследствие чего упомянутая зависимость масштабного фактора Вселенной от ее возраста оказывается в общем случае *нелинейной*.

2. Новая концепция шаровой расширяющейся Вселенной

Автором настоящей публикации предложена космологическая модель, названная теорией шаровой расширяющейся Вселенной, кратко – ТШРВ. Она подробно и систематически описана

в публикации [Шульман, 2006], здесь же я хотел бы лишь кратко остановиться на ее основных отличиях от модели ЭФ.

Все четыре компоненты континуума в ТШРВ являются вещественными. Абсолютное время оказывается компонентой этого континуума, ортогональной к трем “обычным” пространственным компонентам, т.е. радиусом гиперповерхности 4-мерного шара в чисто евклидовом пространстве. Мнимый же характер времени произвольного наблюдателя оказывается простым следствием исходной модели. Поскольку абсолютное время – возраст Вселенной – отождествляется с радиусом ее кривизны, то скорость света оказывается всего лишь переводным (исторически обусловленным) масштабным коэффициентом между нормальной и касательными осями.

В ТШРВ само течение времени связывается с единым и единственным процессом, *внешним* по отношению к свойствам Вселенной – ее расширением. Поэтому нелинейная зависимость радиуса Вселенной от ее возраста лишена смысла. В этой связи предлагается новое решение уравнений ЭФ, в котором радиус Вселенной по определению равен скорости света, умноженной на ее возраст, а сама Вселенная полагается конечной и имеющей положительную кривизну.

Из постулата линейной связи между радиусом и возрастом Вселенной следует необходимость отказа от принципа сохранения массы во Вселенной в ходе ее эволюции. Этот шаг только на первый взгляд противоречит фундаментальной физической традиции, а в действительности опирается на ту самую теорему Нетер, которая обычно и привлекается в качестве обоснования этого принципа. В самом деле, закон сохранения энергии выводится из однородности времени. Но при *глобальном* рассмотрении эволюции Вселенной оказывается, что об однородности времени не может быть и речи! В частности, в уравнения ЭФ входят компоненты метрического тензора, а их значения полностью определяются текущей кривизной пространства-времени. Согласно же ТШРВ, с возрастом Вселенной изменяются масса и энергия частиц, а также такие фундаментальные величины, как постоянная Планка (см. также [Шульман, 2004]). Разумеется, реальная коллизия с законом сохранения массы и энергии в настоящую эпоху исключена, т.к. относительная мера несохранения составляет сейчас всего лишь 10^{-10} в год.

Ключевым моментом при переходе от модели ЭФ к парадигме ТШРВ является вопрос о давлении. Чаще всего в модели ЭФ совокупность галактик рассматривается как своего рода “пыль”, скорость частиц которой крайне мала, поэтому их кинетическим давлением обычно пренебрегают. Равным нулю принято полагать и статическое давление (отвечающее за потенциальное энергетическое взаимодействие между частицами), хотя такой подход не имеет, с моей точки зрения, строгого обоснования. Более того, в классической монографии [Толмен, 1974] приводится найденное Шварцшильдом решение для альтернативной модели – однородного материального шара, состоящего из идеальной жидкости. В этой модели статическое давление является функцией плотности и рассчитывается, а не постулируется; при любой конечной плотности оно отлично от нуля (хотя и может быть крайне малым).

3. Теоретические предсказания ТШРВ

Следуя этому подходу и считая давление в уравнениях ЭФ величиной, подлежащей расчету, мы, *во-первых*, автоматически снимаем вышеуказанную неразрешимую проблему стандартной модели ЭФ с энергией вакуума, т.к. никакого космологического члена теперь вводить не требуется. Мы получаем также ряд других – весьма важных и нетривиальных – результатов.

Во-вторых, оказывается, что в такой модели (с *положительной* кривизной) плотность ρ вещества в каждый (а не какой-то единственный) момент времени равна так называемой критической величине

$$\rho_{кр} = 3 \cdot H^2 / (8 \cdot \pi \cdot G)$$

где H – постоянная Хаббла, G – гравитационная постоянная.

В *третьих*, полностью следуя духу эйнштейновского подхода, направленного на геометризацию физики, ТШРВ позволяет выразить плотность ρ и давление P материи в виде зависимостей от кривизны пространства (а не наоборот):

$$\rho = 3 \cdot c^2 / (4 \cdot \pi \cdot G \cdot R^2), \quad P = -c^4 / (4 \cdot \pi \cdot G \cdot R^2)$$

где R – текущий радиус кривизны Вселенной. На языке физики это означает, что плотность и давление материи суть просто данные нам в ощущениях (измерениях) характеристики кривизны пространства, т.е. что они являются вторичными, зависимыми от нее величинами.

В *четвертых*, как нетрудно видеть из формул для плотности и давления, последнее и по знаку, и по абсолютной величине соответствует уравнению состояния $P = -\rho c^2 / 3$, приписываемому так называемой квинтэссенции (темной энергии), причем без какой-либо искусственной апелляции к космологическому члену. Такая связь между давлением и плотностью является очевидным следствием исходного постулата о равномерном расширении Вселенной, т.е. об отсутствии ускорения, которое, как и в стандартной ЭФ-модели, определяется величиной $(\rho + 3P/c^2)$.

С другой стороны, эта связь весьма нетривиальна: в моей работе [Шульман, 2006] показано, что именно такое соотношение дается вышеупомянутым решением Шварцшильда для области внутри коллапсирующего шара конечного размера. Этот факт дает основание полагать, что наша Вселенная конечна и замкнута именно потому, что представляет собой черную дыру, расширение которой, возможно, связано с поглощением материи и энергии из материнской супер-Вселенной.

В *пятых*, ТШРВ приводит к тому, что масса и энергия во Вселенной не просто, как было нами постулировано, не сохраняются, а линейно растут с увеличением возраста Вселенной. Таким образом, сами уравнения ЭФ дают нам конкретный закон *изменения* энергии, что является непосредственным обобщением теоремы Нетер.

В *шестых*, ТШРВ предсказывает существование выделенной системы отсчета, т.е. возможность в общем случае выявить наличие абсолютного движения некоторого объекта, например – Солнечной системы.

Перейдем к сравнению предсказаний ТШРВ с опытными данными.

4. ТШРВ и наблюдаемая зависимость “светимость – красное смещение”

В стандартной космологии связь между координатным $r(z)$ и фотометрическим $\ell(z)$ расстояниями до источника светового сигнала, испущенного при величине красного смещения z , дается (при $c = 1$) соотношением:

$$\ell(z) = H_0 a_0 r(z) (1 + z)$$

где H_0 и a_0 – соответственно постоянная Хаббла и масштабный фактор Вселенной в настоящее время. Множитель $(1 + z)$ в статической Вселенной отсутствует, а в расширяющейся Вселенной учитывает *изменение* пространственного масштаба за время распространения светового сигнала. С другой стороны, множитель $r(z)$ выражает через z *само расстояние*, пройденное световым сигналом от источника до приемника без учета расширения Вселенной как такового (оно, очевидно, равно нулю при $z = 0$). Произведение $H_0 a_0 r(z)$ в модели ЭФ равно ([Палаш, 1999]):

$$H_0 a_0 r(z) = \frac{1}{\sqrt{|\Omega_k|}} \operatorname{sinn} \left[\sqrt{|\Omega_k|} \int_0^z \frac{dz'}{\sqrt{(1+z')^2(1+\Omega_m z') - z'(2+z')\Omega_\Lambda}} \right],$$

где “sinn” означает гиперболический синус при $\Omega_k > 0$ и обычный синус при $\Omega_k < 0$. Здесь используются безразмерные параметры компонент плотности, обусловленные материей (Ω_m), кривизной (Ω_k) и космологической постоянной (Ω_Λ), причем $\Omega_m + \Omega_k + \Omega_\Lambda = 1$. Если $\Omega_k = 0$, то sinn и Ω_k исчезают из этого выражения, остается лишь сам интеграл. На рис. 1 приведены полученные численным путем графики $H_0 a_0 r(z)$ для $\Omega_m = 0,25$, $\Omega_\Lambda = 0,75$ и для $\Omega_m = 1$, $\Omega_\Lambda = 0$ (при этом $\Omega_k = 0$).

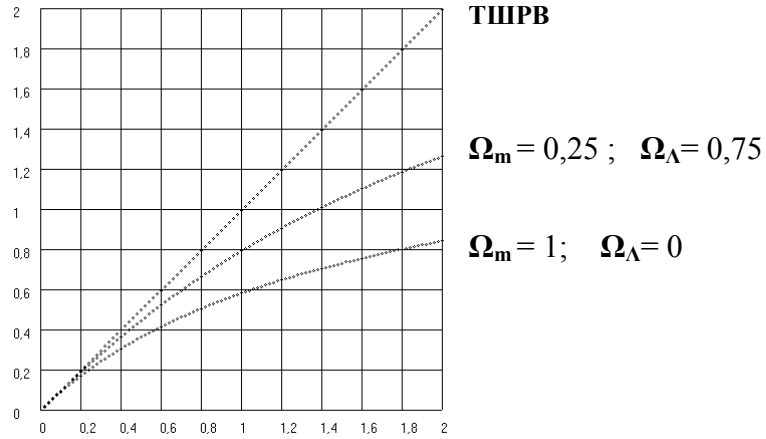


Рис. 1. Зависимость от красного смещения z величины $H_0 a_0 r(z)$

Как можно видеть на графике (рис. 1), при изменении z от 0 до 1 две нижние кривые, отвечающие модели ЭФ, монотонно растут от 0, всюду имея тангенс угла наклона менее 1. Верхняя прямая отвечает ТШРВ, в которой в силу постулата о линейности расширения Вселенной выполняется простое соотношение

$$H_0 a_0 r(z) = z$$

Таким образом, в ТШРВ величина фотометрического расстояния $\ell(z)$ для заданной величины красного смещения z оказывается больше, т.е. звезда кажется более тусклой, чем в модели ЭФ.

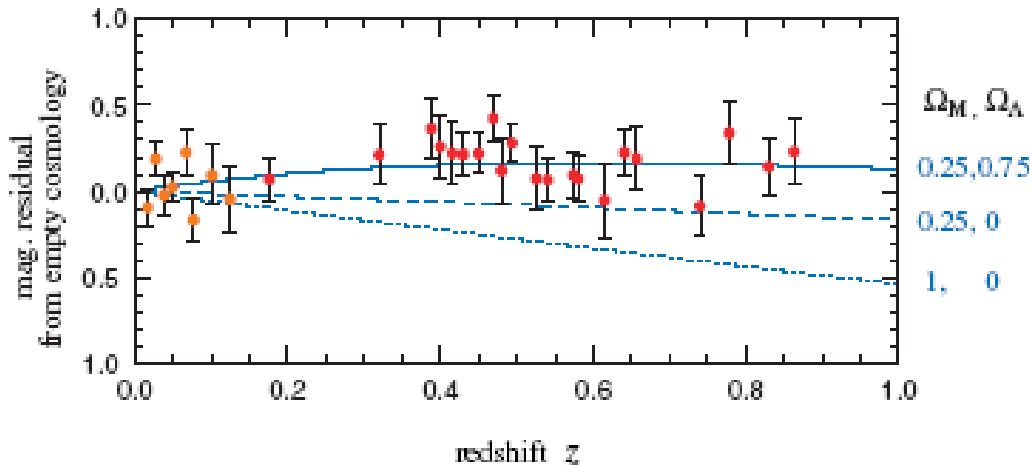


Рис. 2. Разность зависимостей “светимость – красное смещение” для космологических моделей Фридмана с различными значениями Ω_m и Ω_Λ (при $\Omega_k = 0$)

На рис. 2 показана (см. [Перлмутер]) разность зависимостей “магнитуда светимости – красное смещение” для космологических моделей Фридмана с различными значениями Ω_m и

Ω_Λ (при $\Omega_k = 0$). Разность магнитуды Δm при данном z для различных моделей А и В может быть найдена из простого соотношения

$$\Delta m = 5 \cdot \lg (r_A(z) / r_B(z))$$

(где 5 – исторически возникший коэффициент, см., например, [Клапдор-Клайнгротхаус, Цюбер, 2000]).

Нам остается вернуться к рис. 1 для нахождения расчетных разностей магнитуды, чтобы сравнить различные модели. Мы будем искать при заданном z превышение магнитуды Δm по отношению к модели $\Omega_m = 1, \Omega_\Lambda = 0$. Результаты приведены в двух нижних строках табл. 1.

Таблица 1

Z	1,0	1,5	2,0
$\Gamma_{\text{ТШРВ}}$	1,0	1,5	2,0
$r(\Omega_\Lambda = 0,75)$	0,796	1,060	1,265
$r(\Omega_\Lambda = 0)$	0,586	0,735	0,845
$\Gamma_{\text{ТШРВ}} / r(\Omega_\Lambda = 0)$	1,70	2,04	2,37
$r(\Omega_\Lambda = 0,75) / r(\Omega_\Lambda = 0)$	1,36	1,44	1,50
$\Delta m_{\text{ТШРВ}}$	1,16	1,54	1,88
$\Delta m (\Omega_\Lambda = 0,75)$	0,66	0,80	0,88

Легко видеть, что при $z = 1$ модели ЭФ с $\Omega_m = 0,25, \Omega_\Lambda = 0,75$ отвечает превышение магнитуды Δm , равное 0,66, как это следует и из графика рис. 2. ТШРВ дает при $z = 1$ для Δm существенно большее значение 1,16. Однако, насколько можно судить по графику рис. 2, это не противоречит экспериментальным данным. Для надежного разделения предсказаний ТШРВ и моделей ЭФ требуется расширение области наблюдения до значений красного смещения $z = 2$.

5. ТШРВ и проблемы плоскостности и горизонта

Другим важным методом определения космологических параметров является изучение углового спектра флуктуаций температуры реликтового излучения, т.е. автокорреляционной функции для относительных отклонений температуры, вычисленной для двух различных участков небесной сферы (см. рис. 3 из работы [Джонс, 2005]).

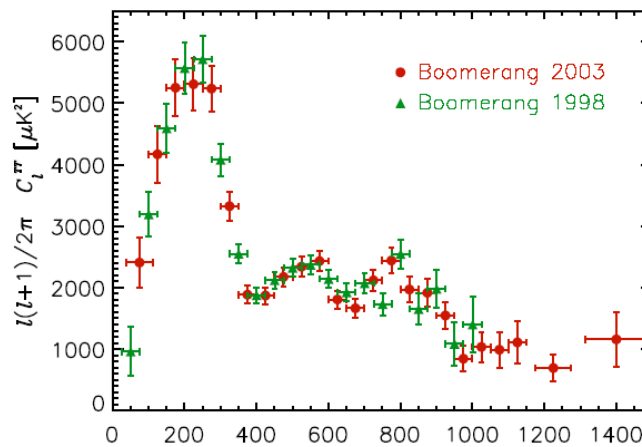


Рис. 3. Угловой спектр флуктуаций реликтового излучения по данным эксперимента BOOMERANG

Аргументом функции на графике является отношение $l = \pi/\theta$, где θ – текущий угол между двумя направлениями. Участок до $l \approx 30$ обусловлен анизотропией, созданной вследствие существования гравитационных волн, при $l > 30$ превалирует вклад, обусловленный эффектом Доплера и отражающий факт скоррелированности акустических колебаний в плазме (так называемых “Сахаровских осцилляций”) в эпоху рекомбинации, вызванных “сфазированными” первичными флуктуациями. Если бы такой связи не было бы, то не было бы и усиленных колебаний на выделенных гармониках, так как во всех масштабах колебания были бы равновероятны. Но причинная связь флуктуаций в разных масштабах могла быть только тогда, когда в прошлом эти флуктуации находились внутри причинно-связанной области, точнее, акустического горизонта. Ожидаемый максимум флуктуаций, наблюдаемых в современную эпоху, должен приходиться на угловой масштаб, под которым сегодня наблюдается звуковой горизонт в момент рекомбинации (порядка 1° , точное значение зависит от полной плотности по отношению к критической). Величина первого пика флуктуаций приходится на угловой масштаб с гармоникой $l = 200$, что соответствует с высокой точностью $\Omega_0 = 1$. [Постнов, 2001].

Здесь для нас существенны два момента. Во-первых, наличие вышеупомянутой *причинной* связи, во вторых – установленное экспериментально значение $\Omega_0 = 1$.

Дело в том, что горизонт причинной связи растет со временем линейно (пропорционально времени распространения светового сигнала от источника до наблюдателя). Однако в моделях Фридмановской Вселенной (без инфляции) масштабный фактор Вселенной (ее размер) растет *медленнее*, поэтому соответствующее выравнивание температур и установление причинной взаимосвязи в достаточно большой области в начальный период существования Вселенной не могло бы осуществиться (так называемая *проблема горизонта*). Хотя теория инфляции позволяет снять эту трудность, гипотетически возможны и другие объяснения. В рамках же ТШРВ это объяснение выглядит предельно просто – там возраст Вселенной всегда пропорционален ее радиусу, следовательно, горизонт *всегда* совпадает с радиусом Вселенной, поэтому проблемы горизонта вообще не существует.

Теперь вернемся к значению $\Omega_0 = 1$, т.е. к экспериментально подтвержденному равенству суммарной плотности материи ее критическому значению. В модели Фридмана этот факт равнозначен тому, что Вселенная является плоской, а ее радиус кривизны – бесконечно большим. Однако в ТШРВ дело обстоит иначе: там плотность материи *всегда* равна критической величине, хотя кривизна положительна. Мы, таким образом, можем видеть, что ТШРВ предлагает весьма ясное и убедительное решение не только проблемы горизонта, но и так называемой проблемы плоскостности.

6. ТШРВ и существование выделенной системы отсчета

К настоящему времени точнейшими многолетними результатами независимых измерений установлен факт существования дипольной анизотропии температуры и поляризации фонового космического излучения в зависимости от направления, по которому к нам летят фотоны. Общепринятое объяснение этого эффекта состоит в том, что Солнечная система движется со скоростью 371 ± 1 км/с по направлению к точке небесной сферы с координатами $(l, b) = (264^\circ, 48^\circ)$ ([Берсанелли и др., 2002]).

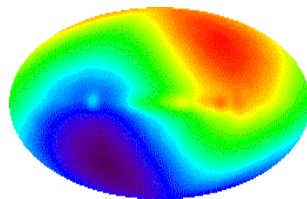


Рис. 4. Дипольная анизотропия фонового космического излучения

Запущенный 18 августа 1989 года спутник COBE (Cosmic Background Explorer), разработанный Центром космических полетов им. Годдарда Национального Аэрокосмического Агенства (NASA)¹, позволил исключительно надежно подтвердить этот результат. Спектр космического микроволнового фонового излучения был измерен с точностью 0.005%; было обнаружено, что этот фон имеет значимую анизотропию на относительном уровне порядка 10^{-5} .

На рис. 4 показана карта отклонений температуры излучений от средней величины (2.728 К) в микроволновой части спектра. *Слоистая структура карты соответствует анизотропии дипольного вида, что является проявлением эффекта, связанного с движением Солнца относительно среды, в которой распространяется микроволновое фоновое излучение.*

Помимо инфракрасной компоненты, было также исследовано космическое фоновое излучение в гораздо более широком спектре. Начиная с 1990 г. с помощью ряда спутников изучается область рентгеновского и гамма-излучения. Наблюдаемая в рентгеновских лучах дипольная анизотропия в пределах погрешностей измерений точно соответствует дипольной анизотропии фонового 3К-излучения, что подтверждает ее интерпретацию как эффекта Доплера ([Кладдор-Клайнротхаус, Цюбер, 2000]).

Заметим, что в рамках согласованных с теорией относительности научных представлений не существует единого убедительного объяснения дипольной анизотропии. Напротив, ТШРВ с уверенностью предсказывает принципиальное существование выделенной системы отсчета. Интересно отметить, что когда я впервые (в 1997 году) пришел к такому теоретическому выводу, то еще не знал об открытии дипольной анизотропии и был весьма подавлен возникшим конфликтом с идеологией теорией относительности. Я поделился своими мыслями с А.В. Московским, который припомнил, что читал о чем-то подобном в комментарии Я.Б. Зельдовича к книге С.Вайнберга “Первые три минуты”. Он дал мне прочесть этот комментарий, и с этой минуты я твердо уверовал в ТШРВ.

В работе [Шульман, 2006] мной предложены и другие способы подтверждения существования выделенной системы отсчета. Один из них связан с измерением смещения спектральных линий излучения Солнца в двух противоположных фазах взаимного расположения Солнца и Земли по отношению к направлению на вышеуказанную точку небесной сферы (264° , 48°), т.е. вдоль оси анизотропии – когда солнечное излучение движется параллельно и антипараллельно этой оси.

7. Заключение

Еще раз остановимся на основных проблемах космологии и путях их решения с помощью ТШРВ.

В ТШРВ *нет необходимости во введении какой-либо космологической константы*, приводящей к нереальным значениям энергии “вакуума”. Вместе с тем, по аналогии с моделью Шварцшильда для шара с конечной плотностью материи, допускается существование статического давления. В предложенной нами модели плотность и давление расширяющейся Вселенной оказываются линейными функциями ее возраста. Само расширение Вселенной также происходит линейно со временем, т.е. время фактически отождествляется с текущим размером Вселенной.

Вновь полученное нами решение уравнений Эйнштейна – Фридмана дает в точности такой характер связи давления с плотностью ($P = -\rho c^2/3$), который сейчас приписывается так называемой квинтэссенции и, по моему мнению, решает *проблему темной энергии*

Проблема пониженной светимости сверхновых звезд для больших значений красного смещения в общепринятой модели Эйнштейна – Фридмана возникает как следствие *нелинейной* зависимости размера Вселенной от ее возраста. Одним из традиционных способов преодоления этой трудности является введение космологического члена и “подгонка” численного

¹ Приведенная здесь информация подготовлена Центром космических полетов им. Годдарда, NASA, США (Goddard Space Flight Center) под руководством COBE Science Working Group, и была предоставлена NSSDC.

соотношения между безразмерными компонентами плотности ($\Omega_m = 0,25$, $\Omega_\Lambda = 0,75$, $\Omega_k = 0$). В ТШРВ же не требуется ни введения космологического члена, ни численной “подгонки”, а необходимый эффект достигается вследствие базовой гипотезы о *линейном* расширении Вселенной. Тем самым, вопреки широко распространенному представлению, *ставится под большое сомнение якобы экспериментально установленный факт ускоренного расширения Вселенной в современную эпоху.*

Постулат о линейной зависимости размера Вселенной от ее возраста позволяет снять еще две фундаментальные проблемы – *горизонта* и *плоскостности*, на решение которых, впрочем, претендуют также теории инфляции. Действительно, в ТШРВ очевидным образом не может меняться со временем соотношение между размером Вселенной и размером горизонта причинной взаимосвязи, а отношение Ω_0 текущей плотности материи к критическому значению, несмотря на наличие положительной кривизны, *всегда* сохраняется равным единице.

Предлагаемая парадигма позволяет по-новому взглянуть на основные физические законы, управляющие Вселенной. В частности, она позволяет закономерным образом поставить вопрос о *причине* (возможной) замкнутости Вселенной как целого. Предлагается гипотеза о ее рождении в качестве черной дыры из внешней супер-Вселенной. Такое предположение получает теоретическое обоснование, приводимое в [Шульман, 2006] и упоминаемое в разделе 3 данной работы.

Далее, как это ни непривычно, при глобальном рассмотрении эволюции Вселенной следует считаться с несоблюдением условия однородности времени, необходимого для справедливости теоремы Нетер. Поэтому вместо закона сохранения энергии следует искать *закон ее изменения*. Именно такой закон (обобщение теоремы Нетер) непосредственно дается полученным нами решением уравнений ЭФ. Разумеется, в настоящую эпоху относительное несохранение энергии и массы крайне мало (порядка 10^{-10} в год) и вряд ли может быть выявлено в эксперименте, однако это на 5 порядков превосходит, например, потери Солнца на излучение и может привлекаться в качестве одного из возможных источников энергии и необратимости во Вселенной. Замечу, что я не являюсь сторонником причинной механики А.Н. Козырева, однако восхищаюсь его научной интуицией, равно как и его научным и человеческим мужеством. Именно чтение его работ в 1992 году побудило меня впервые задуматься о природе времени.

Из самой сути теории относительности следует невозможность существования выделенной системы отсчета. Между тем в рамках ТШРВ принцип относительности выводится (а не декларируется!) всего лишь как приближенный, устанавливаются границы его справедливости, а наличие выделенной системы отсчета оказывается очевидным следствием модели. Несомненным доказательством существования выделенной системы отсчета является уже открытая дипольная анизотропия *реликтового* излучения, а также (это еще подлежит экспериментальной проверке) *любого* электромагнитного излучения.

Наконец, обращаю внимание читателя на то, что ТШРВ предлагает достаточно универсальное объяснение физической природы времени, инерциального и неинерциального движения.

Библиография

- [Берсанелли и др., 2002] M. Bersanelli, D. Maino, and A. Mennella. *Anisotropies of the Cosmic Microwave Background*. arXiv:astro-ph/0209215 v2 27 Sep 2002 Доступно по ссылке http://ru.arxiv.org/PS_cache/astro-ph/pdf/0209/0209215.pdf
- [Джонс, 2005] W.C.Jones et al. *A measurement of the angular power spectrum of the CMB temperature anisotropy from the 2003 flight of Boomerang*, submitted to ApJ, 2005. (astro-ph/0507494). Доступно по ссылке http://cmb.phys.cwru.edu/boomerang/papers/2005_July/TT_0507494_hires.pdf

- [Клапдор-Клайнгротхаус, Цюбер, 2000] Клапдор-Клайнгротхаус Г. В., Цюбер К. *Астрофизика элементарных частиц*. Москва, Редакция журнала “Успехи физических наук”, 2000
- [Палаш, 1999] Palash B. Pal. *Determination of cosmological parameters: an introduction for non-specialists*. arXiv:hep-ph/9906447 v1 22 Jun 1999 Доступно по ссылке http://xxx.lanl.gov/PS_cache/hep-ph/pdf/9906/9906447.pdf
- [Перлмутер] Saul Perlmutter, Lawrence Berkeley Laboratory 50-232, University of California. *High Redshift Supernova Search, Supernova Cosmology Project* Доступно по ссылке <http://panisse.lbl.gov/>
- [Постнов, 2001] Постнов К.А. *Лекции по общей астрофизике для физиков*. Доступно по ссылке <http://www.astronet.ru:8101/db/msg/1176797>
- [Сажин, 2002] Сажин М.В. *Современная космология в популярном изложении*. Москва, Издательство “Едиториал УРСС”, 2002.
- [Толмен, 1974] Толмен Р. *Относительность, термодинамика и космология*. Москва, Наука, 1974.
- [Шульман, 2004] Шульман М.Х. *Вариации на темы квантовой теории*. Москва, Едиториал УРСС, 2004. Доступно по ссылке http://www.chronos.msu.ru/RREPORTS/shulman_variatsii.pdf
- [Шульман, 2006] Шульман М.Х. *Парадоксы, логика и физическая природа времени*. Доступно по ссылке http://www.chronos.msu.ru/RREPORTS/shulman_paradoksy.pdf