МОДИФИКАЦИЯ СТАНДАРТНОЙ КОСМОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ С УЧЕТОМ ЗАВИСИМОСТИ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА ОТ ВРЕМЕНИ

Ю.С. Кудрявцев

Предложена модификация стандартной космологической модели за счет ее построения на метрике, учитывающей ненулевое значение дифференциала масштабного фактора в расширяющейся Вселенной. Показано, что учет этой зависимости может привести к модели Вселенной, лишенной противоречий и смысловых неопределенностей стандартной модели.

Модифицированная модель позволяет непротиворечиво объяснить наблюдательные данные о плотности материи и ускоренном расширении Вселенной, а также недавно обнаруженную симметрию неоднородностей микроволнового фона, не привлекая представлений о гипотетических субстанциях - космологической постоянной, темной энергии, энергии вакуума, и не выходя за рамки базовых постулатов Теории Относительности.

98.80.-k

1. Введение. Противоречия и неопределенности стандартной модели.

«Конечно, вполне возможно, что эталонная модель частично или полностью неверна. Однако ее ценность заключается не в ее непоколебимой справедливости, а в том, что она служит основой для обсуждения огромного разнообразия наблюдаемых данных» (С. Вейнберг) [1].

Трудно не согласиться с этой высокой оценкой стандартной («эталонной») космологической модели. Но то же самое, что Вейнберг указывает в качестве ее сильной стороны, является ее уязвимым местом - она является основой для обсуждения и интерпретации и в качестве этой основы не должна содержать противоречий и смысловых неопределенностей. Рассмотрим ее с этой точки зрения.

Стандартная модель не позволяет:

- устранить противоречия между наблюдательными данными о плотности материи и о соотношении между красными смещениями и светимостью галактик [1], а также недавно полученными данными об ускоренном расширении Вселенной [2] без введения дополнительных гипотетических субстанций - космологической постоянной, темной энергии, энергии вакуума;

- удовлетворить «естественное стремление избежать сингулярности» [1] без введения таких искусственных величин как мнимое время Стивена Хокинга [3];

- ответить на вопрос о причинах точного соответствия плотности ранней Вселенной критическому значению без привлечения антропного принципа [3];

- устранить неопределенность в важном мировоззренческом вопросе «могло ли быть что-нибудь «до Большого Взрыва» [3]»;

- устранить неопределенность в вопросе, могут ли материальные объекты удаляться от нас со скоростью, превышающей скорость света [4].

Сопутствуюшая система координат отражается в уравнениях поля стандартной модели только в форме нулевых скоростей материальных объектов, что исключает из рассмотрения их кинетическую энергию, порождает неопределенность представлений о реальности расширения и противоречит закону сохранения энергии. Это противоречие наглядно проявляется в рассмотренном Эйнштейном равенстве $\partial T^{\alpha}_{\sigma} / \partial x_{\alpha} + 1/2\ \partial g^{\mu\nu} / \partial x_{\sigma}\ T_{\mu\nu} = 0$. Эйнштейн указывает [5], что второй член в левой части этого равенства представляет выражение для энергии, передаваемой веществу от гравитационного поля. В стандартной модели он оказывается равным нулю, что соответствует отсутствию обмена энергией, а следовательно невозможности развития Вселенной во времени.

Стандартная модель основана на метрике, построенной в пренебрежении ненулевой величиной дифференциала масштабного фактора. Математическая необходимость его учета при выводе выражения для интервала [6] в нестационарной Вселенной, где он имеет ненулевое значение, входит в противоречие с лежащим в основе стандартной модели выражением, эквивалентным выражению для стационарной Вселенной Эйнштейна [7], в котором он не учитывался естественным образом, будучи равным нулю.

Ниже будет сделана попытка показать, что возможность разрешения всех указанных противоречий может быть связана с разрешением последнего из них.

2. Уравнения поля стандартной модели.

В основе стандартной модели лежит выражение для интервала [6]:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - a^2[d\chi^2 + \sin^2\chi\,(\sin^2\theta\, d\varphi^2 + d\theta^2)]; \qquad (1)$$

где a - радиус кривизны пространства (масштабный фактор), χ - координата дальности, θ, φ - угловые координаты, c - скорость света. Соответствующие значения компонентов метрического тензора: $g_{00} = 1$, $g_{11} = - a^2$, $g_{22} = - a^2 \sin^2\chi$, $g_{33} = - a^2 \sin^2\chi \sin^2\theta$.

При этом уравнение гравитационного поля для закрытой модели имеет вид:

$$(8\pi G/3c^4){*}\varepsilon = (1/a^2){*}(a'^2 + 1); \qquad (2)$$

где G - гравитационная постоянная, ε - средняя плотность энергии материи, $a' = da/cdt$.

Уравнение для открытой модели отличается знаком в последней скобке: (a'^2-1).

Для закрытой модели это выражение приобретает вид:

$$2a_0/a = 1 + a'^2; \qquad (3)$$

где

$$a_0 = 2GM/3\pi c^2 = const. \qquad (4)$$

Вводя относительную величину масштабного фактора $\alpha = a/2a_0$, получаем:

$$a' = ((1-\alpha)/\alpha)^{1/2}. \qquad (5)$$

Физический смысл производной $a' = da/cdt$ может быть определен как относительная скорость (β=v/c) расширения гиперсферы радиусом "a" в 4х-мерном евклидовом пространстве. Принцип относительности Эйнштейна не допускает перемещения материальных тел со скоростями, превышающими скорость света. Поверхность расширяющейся гиперсферы представляет собой 3-мерное пространство с находящимися в нем материальными объектами. Из (5) видим, что при $\alpha \to 0$ $a' \to \infty$. Таким образом, для 4-мерного пространства принцип относительности Эйнштейна выполняется только на гиперсфере, скорость же перемещения объектов в этом пространстве, связанная с расширением Вселенной, может превышать скорость света и стремиться к бесконечности.

Для открытой модели

$$a' = ((1+\alpha)/\alpha)^{1/2}; \qquad (6)$$

откуда следует, что, как и в закрытой модели, $a' \to \infty$ при $\alpha \to 0$. Но если в закрытой модели $a'<1$ при $\alpha >1/2$, то в открытой модели $a'>1$ при любых значениях α .

Отметим, что закрытая модель не содержит внутреннего противоречия, свойственного открытой и плоской моделям с бесконечным пространством: из любой части бесконечного пространства, заполненного однородной материей, можно вырезать шар, удовлетворяющий условию самозамыкания по Шварцшильду, то есть замкнутый в себе, что противоречит открытому характеру модели. Ниже будем рассматривать только закрытую модель.

Уравнения Эйнштейна представляют собой математическое выражение закона сохранения полной энергии, включающей энергию материи и гравитационного поля. В выражениях (2),(3) энергия материи заключена в члене ε в левой части. Соответственно, члены правой части отражают только энергию гравитационного поля. Член ε включает только энергию покоя материи и не включает кинетической энергии ее движения в процессе расширения Вселенной, т.к. в сопутствующей системе координат скорости материальных объектов принимаются равными нулю. Целесообразность выбора такой системы координат связана с условием изотропности, которое требует отсутствия выделенных направлений, что выполняется при нулевом модуле векторов скорости. Но, удовлетворяя условию изотропности, сопутствующие координаты исключают из энергетического члена кинетическую энергию расширения, не компенсируя ее соответствующими изменениями в других членах уравнения. Таким образом кинетическая энергия расширения Вселенной в стандартной модели исключена из рассмотрения, что приводит к противоречию с законом сохранения энергии.

3. Метрика с учетом зависимости кривизны от времени.

Приведенное выше выражение для интервала (1) соответствует равномерно искривленному сферическому пространству, полученному Эйнштейном путем введения воображаемой 4-й координаты и ее последующего исключения, выражая через радиус кривизны пространства. Эта методика была предложена Эйнштейном при рассмотрении стационарной Вселенной [7]. При этом входящий в выражение для элемента пространственного расстояния дифференциал воображаемой 4-й координаты включает дифференциалы трех пространственных координат и не включает дифференциала радиуса кривизны пространства da, который в стационарной Вселенной равен нулю.

Рассмотрим, как изменится выражение для интервала и соответствующие уравнения поля с учетом явной зависимости a(t). Вводя, аналогично [6], понятие о четырехмерном пространстве, получим выражение для элемента пространственного расстояния dl в виде:

$$dl^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 + (a\,da - x_1\,dx_1 - x_2\,dx_2 - x_3\,dx_3)^2 / (a^2 - x_1^2 - x_2^2 - x_3^2); \quad (7)$$

где x_1, x_2, x_3 - декартовы пространственные координаты. Переходя от декартовых координат к полярным r, θ, φ и рассматривая для простоты только радиальные перемещения (θ = 0, dθ = 0), получим

$$dl^2 = dr^2 + (da - (r/a)*dr)^2 / (1 - (r/a)^2); \quad (8)$$

введем, аналогично [6], координату χ из выражения r = sin (χ). Тогда:

$$dl^2 = da^2 + a^2 d\chi^2; \quad (9)$$

Запишем выражение для интервала:

$$ds^2 = c^2dt^2 - dl^2 = c^2dt^2 - da^2 - a^2d\chi^2 = c^2dt^2(1 - da^2/c^2dt^2) - a^2d\chi^2; \quad (10)$$

С учетом определения a' окончательно получим:

$$ds^2 = c^2dt^2(1 - a'^2) - a^2d\chi^2; \quad (11)$$

Таким образом, учет явной зависимости a(t) дает выражение для интервала, в котором постоянное значение компоненты метрического тензора $g_{00} = 1$ заменяется на переменное

$$g_{00} = (1 - a'^2). \quad (12)$$

Подставляя в (1), окончательно запишем:

$$ds^2 = c^2dt^2(1 - a'^2) - a^2[d\chi^2 + \sin^2\chi\,(\sin^2\theta\, d\varphi^2 + d\theta^2)]. \quad (13)$$

4. Модель закрытой Вселенной при переменном значении g_{00}.

Уравнения (2),(3) при $g_{00} = (1-a'^2)$ приобретают вид

$$(8\pi G/3c^4)*\varepsilon = (1/a^2)*(1 + a'^2/ g_{00}) = (1/a^2)*(1 + a'^2/(1 - a'^2)); \qquad (14)$$

$$2a_0/a = 1 + a'^2/(1-a'^2); \qquad (15)$$

Вводя относительную величину радиуса кривизны $\alpha = a/2a_0$, получим:

$$a' = da / cdt = (1-\alpha)^{1/2} ; \qquad (16)$$

Отметим особенности модели, соответствующей выражению (16):

При $\alpha\to 0$ $a'\to 1$. Таким образом принцип относительности во всем 4х-мерном пространстве, в отличие от стандартной модели, выполняется. Кинетическая энергия расширения, как и в стандартной модели, исключена из рассмотрения.

5. Возможность учета кинетической энергии.

Закрытая Вселенная в стандартной космологической модели представляет собой расширяющуюся гиперсферу в 4-мерном евклидовом [1] пространстве, радиус которой увеличивается с относительной скоростью a'. В этом пространстве определены понятия длины (радиус кривизны пространства) и времени, что позволяет нам распространить на него понятие скорости, понятие максимальной скорости (скорости света), принцип относительности Эйнштейна и соответствующие выражения специальной теории относительности.

Рассмотрим расширяющуюся гиперсферу в 4-мерном пространстве в фиксированной системе координат, связанной с ее центром масс (геометрическим центром) и отметим, что это не противоречит использованию 3-мерной сопутствующей системы координат на поверхности гиперсферы, расширяющейся вместе с ней. Условие изотропности 3-мерного мира сохраняется, т.к. расширение происходит в направлении, перпендикулярном всем его пространственным координатам.

Мы полагаем нулевыми скорости тел на гиперповерхности (в 3-мерном пространстве), но каждая ее точка движется относительно центра гиперсферы с относительной скоростью a'. При этом масса m каждого элемента Вселенной определится выражением специальной теории относительности

$$m = m_0(1-\beta^2)^{-1/2} ; \qquad (17)$$

где β - относительная скорость, но так как все тела движутся относительно центра гиперсферы с одним и тем же модулем скорости β = a', выражение (17) может быть отнесено к массе любого элемента и, соответственно, к массе M Вселенной в целом:

$$M = M_0(1-a'^2)^{-1/2} = \gamma M_0; \qquad (18)$$

где M_0 - масса покоя Вселенной, предполагаемая постоянной, γ - общепринятое обозначение для $(1-\beta^2)^{-1/2}$. В данном случае

$$\gamma = (1-a'^2)^{-1/2}. \qquad (19)$$

Подставляя (18) в выражение для константы a_0 (4), видим, что в этом случае a_0 останется константой, если

$$a_0 = 2GM_0/3\pi c^2. \qquad (22)$$

Тогда в (15) a_0 заменяется на γa_0. Учитывая, что выражение в правой части (15) также может быть выражено через γ согласно (19), получим:

$$2a_0/a = \gamma; \qquad (21)$$

откуда, подставляя (19) и переходя к α, получим:

$$a' = da / cdt = (1 - \alpha^2)^{1/2}; \qquad (22)$$

$$dt = (2a_0/c)\, d\alpha /(1-\alpha^2)^{1/2}. \qquad (23)$$

Отметим основные особенности модели согласно (22):

При $\alpha \to 0$ $a' \to 1$, т.е. принцип относительности выполняется. Кинетическая энергия расширения включена в рассмотрение. Уравнения поля выражают закон сохранения полной энергии, включающей энергию покоя материи, кинетическую энергию ее движения в процессе расширения Вселенной и энергию гравитационного поля. Обмен между этими видами энергии происходит ($\partial g^{\mu\nu}/\partial x_\sigma T_{\mu\nu} \neq 0$ [5]).

Таким образом, учет зависимости радиуса кривизны от времени позволяет учесть кинетическую энергию расширения и обеспечивает соответствие уравнений, описывающих эволюцию расширяющейся Вселенной, закону сохранения энергии. При g_{00}=1 это оказывается невозможным, т.к. приводит к равенству

$$\alpha = (1- a'^2)^{-1/2} (1 + a'^2)^{-1}, \qquad (24)$$

которое выполняется только при (α > 0,9), что противоречит представлениям о горячей истории ранней Вселенной.

6. Постоянная Хаббла и плотность массы в закрытой Вселенной

По определению постоянной Хаббла H = (1/a)(da/dt). Выразив a через α и da/dt через a', получим:

$$H = (c/2a_0\alpha)\, a'; \qquad (25)$$

Выразим массу покоя закрытой Вселенной в выражении (20) для a_0 через ее объем

$$a_0 = 2GM_0/3\pi c^2 = (2G/3\pi c^2)2\pi^2 a^3\mu = (2G/3\pi c^2)2\pi^2(2a_0\alpha)^3\mu; \qquad (26)$$

где μ - плотность массы покоя.

Разделив обе части на a_0^3 и преобразуя, получаем:

$$(c/2a_0\alpha) = (8\pi G\mu/3)^{1/2}\,\alpha^{1/2}; \qquad (27)$$

откуда с учетом (25)

$$H = (8\pi G\mu/3)^{1/2}\,\alpha^{1/2}\,a'. \qquad (28)$$

Подставляя $a'(\alpha)$ из (22), получим:

$$H = (8\pi G\mu/3)^{1/2}\,\alpha^{1/2}\,(1-\alpha^2)^{1/2}; \qquad (29)$$

Учитывая, что $3H^2/8\pi G$ - критическая плотность μ_K, и переходя к $\Omega = \mu/\mu_K$, получим:

$$\Omega^{-1} = \alpha\,(1 - \alpha^2); \qquad (30)$$

При наличии действительных решений уравнение (30) позволяет найти значения относительной величины масштабного фактора α, подставляя которые в (27), мы можем определить величину константы a_0. Однако в закрытой модели $0<\alpha<1$ и правая часть уравнения имеет значение <1, в то время как левая часть (Ω^{-1}), согласно наблюдательным данным, >1. При таких параметрах уравнение (30) действительных решений не имеет.

Величина Ω, кроме средней плотности материи, включает значение критической плотности, в которую входят две физические величины - гравитационная постоянная и постоянная Хаббла. Рассмотрим, не может ли отсутствие решений уравнения (30) быть связано с изменением их величин в рассматриваемой модели, рассматривающей Вселенную как расширяющуюся 3-мерную гиперсферу в 4-мерном евклидовом пространстве, в котором действительны представления о скорости и уравнения специальной теории относительности? Предварительно обсудим вопрос о системах отсчета.

7. Вопрос о системах отсчета

В предложенной модели можно рассматривать две системы координат:

- система координат, связанная с геометрическим центром гиперсферы, (центр масс).
- система координат наблюдателя, расположенного на поверхности гиперсферы.

В связи с тем, что мы полагаем действительными уравнения специальной теории относительности, а эти системы координат движутся по отношению друг к другу с относительной скоростью $\beta = a'$, можно утверждать, что скорости течения времени в них различны. К какой из них относится входящее в уравнения поля время t?

Если t есть время в системе координат неподвижного наблюдателя на поверхности гиперсферы (обозначим ее K), то собственное время ее центра t_c, удаляющегося от наблюдателя с относительной скоростью β=a', определится известным выражением специальной теории относительности

$$dt_c = dt\,(1-\beta^2)^{1/2} = dt\,/\,\gamma; \qquad (31)$$

однако это не имеет какого-нибудь практического значения, т.к. все наблюдения и измерения производятся в одной и той же системе отсчета K, к которой относятся и описывающие Вселенную уравнения. Заметим только, что этому варианту свойственна отмеченная выше противоречивость.

В противоположном случае входящее в уравнения время t относится к системе координат центра масс K_c, с которой связаны часы, удаляющиеся от наблюдателя на поверхности расширяющейся гиперсферы с относительной скоростью β = a'. В этом случае t есть собственное время движущихся часов, находящихся в центре масс, связанных с временем t_{obs} в системе координат наблюдателя выражением

$$dt = dt_{obs}/\gamma. \qquad (32)$$

8. Проверка возможности отличия критической плотности от значения в стандартной модели, связанного с гравитационной постоянной

Принцип относительности требует независимости от системы отсчета одной из мировых констант - скорости света, но не налагает таких же требований на другие величины, рассматриваемые в качестве мировых констант, в том числе и на гравитационную постоянную, вопрос о постоянстве или непостоянстве которой дискутируется уже более полувека [1].

Рассмотрим этот вопрос с точки зрения двух систем отсчета - наблюдателя на поверхности гиперсферы (K), и центра масс Вселенной (K_c), расположенного на расстоянии a от наблюдателя в направлении, перпендикулярном всем трем пространственным координатам, и удаляющегося от него с относительной скоростью β = a'.

Мы измеряем гравитационную постоянную в системе отсчета наблюдателя. В первом из рассмотренных выше случаев, т.е. если t в описывающих Вселенную уравнениях есть время в системе отсчета наблюдателя, ее значение равно измеренному. Но если уравнения, лежащие в основе стандартной модели Вселенной, относятся к системе отсчета ее центра масс, мы должны проверить, будет ли величина гравитационной постоянной иметь в системе координат центра масс, т.е. в уравнениях поля, значение, равное измеренному?

Для этого рассмотрим в системах координат K и K_c, простую систему взаимодействующих тел (величины, относящиеся к K_c, будем отмечать индексом $_c$) - тело массой m, обращающееся вокруг планеты массой M по круговой орбите радиуса R.

Условие равновесия тела на круговой орбите:

$$F_g = GmM/R^2 = F_c = m\omega^2 R; \qquad (33)$$

где ω - угловая скорость, откуда

$$G = \omega^2 R^3/M = 4\pi^2 R^3/MT^2. \qquad (34)$$

Плоскость вращения перпендикулярна скорости удаления систем, $R_c = R$, откуда $4\pi^2 R^3 = const$,

$$G = const /MT^2. \qquad (35)$$

Рассмотрим с точки зрения закона сохранения момента импульса: **Mo** = [**R** x **p**] = const. Для системы тел с массами m и M, вращающихся вокруг общего центра инерции по круговым орбитам

$$|\mathbf{Mo}| = Mo = \omega R^2(Mm/M+m); \qquad (36)$$

где R - расстояние между центрами масс, ω - угловая скорость вращения.

При M>>m с учетом (34) получим

$$Mo = \omega R^2 m = m(GMR)^{1/2}; \qquad (37)$$

откуда

$$G = Mo^2 / Mm^2 R = const /Mm^2. \qquad (38)$$

Теперь рассмотрим соотношения всех величин, входящих в полученные выражения, в системах отсчета K и K_c. Как мы уже отмечали, $l_c = l$; $R_c = R$. Рассмотрим T, M и m.

Считаем, что уравнения стандартной модели относятся к системе координат K_c. Интервал собственного времени этой системы dt связан с интервалом времени dt_{obs} в системе отсчета наблюдателя K как $dt = dt_{obs}/\gamma$ (32). Соответственно, период времени T, измеренный в системе отсчета K, будет связан со значением в системе K_c соотношением

$$T_c = T/\gamma; \qquad (39)$$

Из сравнения выражений (35) и (38), получаем, что период T и массы m, M в рассмотренных примерах изменяются при переходе от одной системы отсчета к другой по одному и тому же закону. Таким образом,

$$M_c = M / \gamma; \qquad (40)$$

Подставив (52, 53) в (35), получим:

$$G_c = const / M_c T_c^{\,2} = \gamma^3\, const / MT^2 = G\,\gamma^3. \qquad (41)$$

9. Проверка возможности отличия критической плотности от значения в стандартной модели за счет постоянной Хаббла

В рассматриваемой модели скорость движения наблюдаемого объекта относительно наблюдателя равна разности векторов скорости расширения гиперповерхности в 4-мерном пространстве в точках расположения наблюдаемого объекта и наблюдателя. Модули этих векторов для любой точки Вселенной в пренебрежении собственными скоростями тел имеют значение β = a', направления перпендикулярны к гиперповерхности. Т.к. мы рассматриваем только радиальные перемещения, ($\theta = \varphi = 0$), можем графически изобразить модель 4-мерного пространства в 2-мерном сечении (Рис. 1).

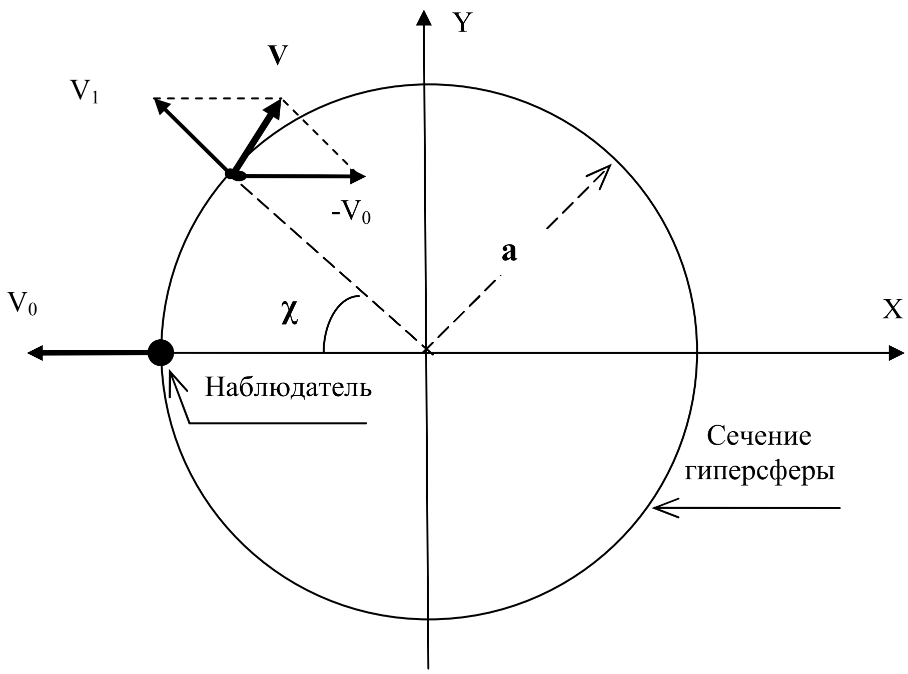

Рис. 1. Двумерное сечение 4-мерного пространства с гиперсферой радиуса «а». Угловая координата χ характеризует удаление точки гиперповерхности от места расположения наблюдателя (черная точка). Векторы $\mathbf{V_0}$ и $\mathbf{V_1}$ - скорости движения наблюдателя и наблюдаемого объекта. Вектор **V** - скорость движения объекта относительно наблюдателя.

Произведя вычитание $\mathbf{V_1}$ и $\mathbf{V_0}$ по формулам релятивистского сложения скоростей, получим выражение для зависимости скорости удаления V объекта от координаты χ в виде:

$$V^2(\chi) = c^2\beta^2*(2 - 2*\cos(\chi) - \sin^2(\chi)*\beta^2) / (1 - \beta^2*\cos(\chi))^2; \qquad (42)$$

Переходя к пределу $\chi\to 0$, получаем

$$V(\chi) \to c\beta\chi /(1- \beta^2)^{1/2}; \qquad (43)$$

Выражая расстояние D через угловую координату χ ($D=a*\chi$) и учитывая, что β= a', получим:

$$V(D) = dD/dt = ca'(D/a)/(1- a'^2)^{1/2} = (ca'/a) D\gamma = HD\gamma; \qquad (44)$$

H - постоянная Хаббла.

Обозначим коэффициент пропорциональности между наблюдаемой скоростью удаления объектов и расстоянием до них как $H_{obs} = V_{obs}/D$. Выразим через постоянную Хаббла из (44) с учетом (32):

$$H_{obs} = (1/D)(dD/dt_{obs}) = (1/\gamma D)(dD/dt) = (1/\gamma D)\, HD\gamma = H. \qquad (45)$$

Постоянная Хаббла, входящая в уравнения поля, равна коэффициенту пропорциональности между скоростью и расстоянием в нашей системе координат и, таким образом, не оказывает влияния на величину критической плотности.

10. В какой системе отсчета постоянна гравитационная постоянная?

Гравитационная постоянная G входит в исходные уравнения поля. Выше мы установили, что ее значение в системе координат центра масс Вселенной отличается от значения в системе координат наблюдателя и связано с ним коэффициентом γ^3, зависящим от скорости расширения, т.е. изменяющимся во времени. В связи с этим встает вопрос, в какой из этих систем отсчета гравитационная постоянная постоянна?

Если она постоянна в системе отсчета наблюдателя (G = const), то будет переменной в системе отсчета центра масс ($G_c \neq$ const), к которой, как мы предположили, относятся полученные уравнения. Тогда мы должны учесть переменность этой величины, произведя в исходном уравнении (21) замену $G \rightarrow G_c = G\gamma^3$.

Переход $G \rightarrow G_c$ приведет к замене в уравнении (21) $a_0 \rightarrow a_{0c} = a_0\gamma^3$. Получаем равенство

$$\alpha = \gamma^2, \qquad (46)$$

недействительное при всех $\alpha \neq 1$ ($\alpha<1$, $\gamma>1$).

Таким образом, предположение(G = const, $G_c \neq$ const) приводит к противоречию и является ошибочным.

Рассмотрим противоположный вариант (G_c = const, $G \neq$ const). В этом случае входящая в уравнения поля величина гравитационной постоянной G_c остается постоянной величиной, и уравнение (21) и вытекающие из него зависимости $a'(\alpha)$ и $\gamma(\alpha)$ остаются неизменными. Но выражение (30), связывающее с α измеренное значение G, должно содержать зависящее от α соотношение между G и G_c.

Подставим G_c в выражение для μ_K ($\mu_K{}^c = 3H^2/8\pi G_c$) и выразим его через измеряемое значение G из (41). Это приводит к замене $\mu_K \rightarrow \mu_K{}^c = \mu_K/\gamma^3(\alpha)$.

Подставляя в (30), получим:

$$\Omega^{-1}\gamma^{-3} = \alpha\,(1-\alpha^2); \qquad (47)$$

где γ, из (22),

$$\gamma(\alpha) = (1-a'^2)^{-1/2} = \alpha^{-1}; \qquad (48)$$

откуда

$$\Omega^{-1} = (1-\alpha^2)\alpha^{-2}. \qquad (49)$$

$$\alpha = \Omega^{1/2}(\Omega+1)^{-1/2}. \qquad (50)$$

Подставляя в (26), получим выражения для a_0 и a:

$$a_0 = (c/2H)\ \Omega^{-5/4}(\Omega+1)^{3/4}; \qquad (51)$$

$$a = (c/H)\ \Omega^{-3/4}(\Omega+1)^{1/4}; \qquad (52)$$

На Рис. 2 графически показана зависимость α (Ω) по выражению (50) в сравнении с аналогичными кривыми для стандартной модели. Из приведенных кривых видно, что в модифицированной модели Вселенная остается закрытой при любых значениях наблюдаемой плотности материи.

Рассчитанный по выражению (52) радиус кривизны пространства закрытой Вселенной составляет для Ω = 0,2 - более 45 млн. св. лет, а для максимальной ожидаемой плотности с учетом темной материи Ω = 0,4 [8] около 28 млрд. св. лет. Он существенно превышает сегодняшний порог видимости и таким образом вполне согласуется с принятыми в настоящее время представлениями о практически плоском пространстве.

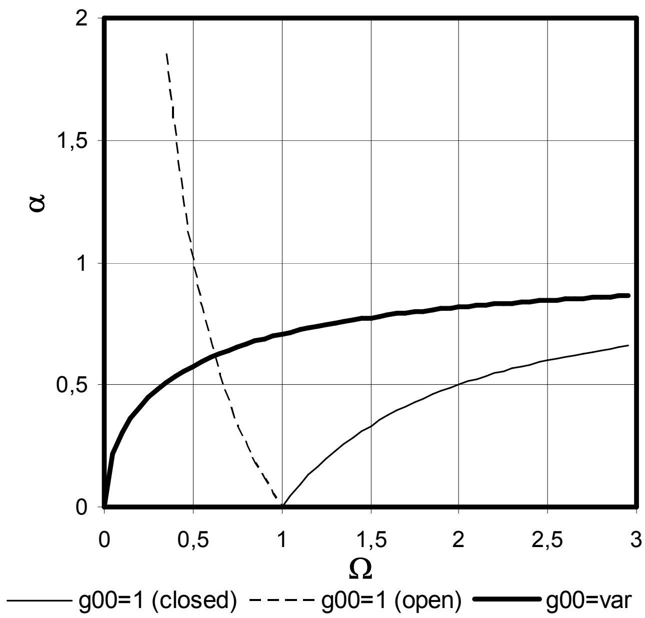

Рис. 2. Зависимость α (Ω) для модифицированной закрытой модели Вселенной (g_{00} = var) в сравнении со стандартной моделью (g_{00} = 1).

11. Динамика развития Вселенной в системе отсчета наблюдателя

Рассмотрим динамику расширения Вселенной в системе отсчета наблюдателя, если t - время в системе отсчета центра масс. В этом случае t связано с t_{obs} выражением (32).

Подставив выражение dt из (23) и γ из (48), получим выражение для $dt_{obs}(\alpha)$ в виде:

$$dt_{obs} = (2a_0/c)\ d\alpha\ /\ [\alpha\ (1-\alpha^2)^{1/2}]; \qquad (53)$$

Интегрируя, получим выражение:

$$\alpha(\tau_{obs}) = 1/ch(\tau_{obs}); \qquad (54)$$

где

$$\tau_{obs} \equiv (c/2a_0)t_{obs} \tag{55}$$

Отсчет τ_{obs} производится от момента максимального расширения (α =1).

На рис. 3 показана динамика развития Вселенной в системе отсчета наблюдателя $\alpha(\tau_{obs})$. На кривой отмечены точки сегодняшнего состояния Вселенной при плотности, равной плотности видимой материи (Ω = 0,03), и при максимальной возможной плотности с учетом темной материи (Ω = 0,4) [8]. Рассчитано по ф-ле (50).

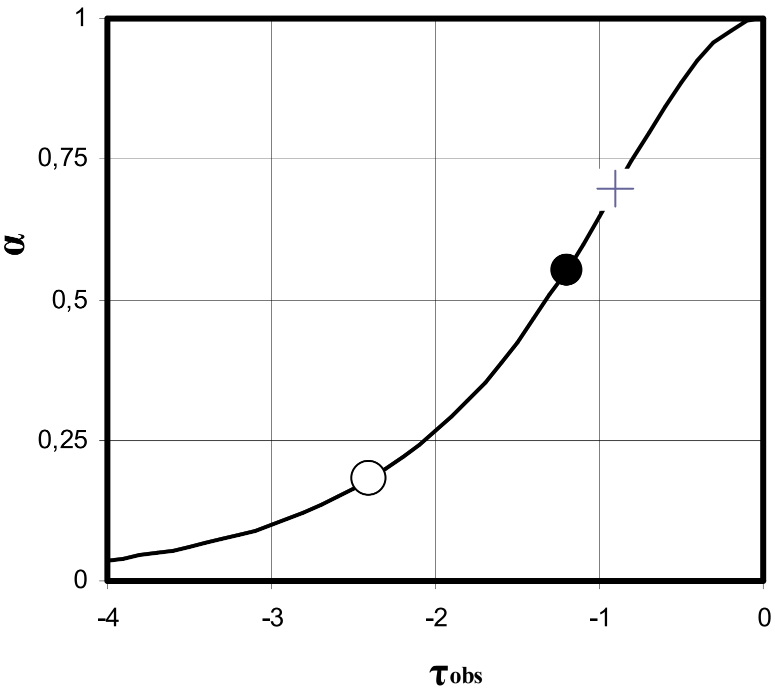

Рис. 3. Динамика расширения Вселенной в системе отсчета наблюдателя. Время выражено в относительных единицах τ_{obs} и отсчитывается от момента максимального расширения (α =1). На кривой отмечены положения сегодняшнего состояния Вселенной при плотности Ω = 0,03 (светлый кружок), и при плотности Ω = 0,4 (темный кружок). Крестом отмечена точка перегиба.

Расширение в системе отсчета наблюдателя происходит по закону гиперболического косеканса, время жизни Вселенной в этой системе отсчета оказывается бесконечным, что снимает целый ряд ограничений и противоречий, свойственных стандартной модели. Полученные из наблюдательных данных значения плотности материи соответствуют закрытой Вселенной на этапе ускоренного расширения (ниже точки перегиба $\alpha=1/\sqrt{2}$).

Скорость изменения радиуса кривизны в системе отсчета наблюдателя дается выражением

$$\beta_{obs} = da/dt_{obs} = \alpha\,(1 - \alpha^2)^{1/2}. \tag{56}$$

и ни в какой момент не превышает половины скорости света. Расширение, в противоположность стандартной модели, происходит медленно, что снимает «проблему горизонта» и целый ряд других проблем стандартной модели, входящих в число оснований сценария раздувающейся Вселенной [9]: «проблема сингулярности», «проблема плоскостности», формулируемая как вопрос о причинах точного соответствия плотности материи в ранней Вселенной критическому значению и являющаяся основанием «антропного принципа» [3],[9] (исчезает, т.к. при $\alpha \to 0$ $\Omega = \alpha^2/(1-\alpha^2) \approx \alpha^2$), «проблема крупномасштабной однородности и изотропии» (связана с «проблемой горизонта»), «проблема реликтовый монополей» и «проблема реликтовых гравитино» (также определяются динамикой развития).

12. Возможное влияние на особенности анизотропии реликтового фона

Динамика развития Вселенной в системе отсчета наблюдателя существенно отличается от стандартной модели и не позволяет объяснить наблюдаемый спектр пространственных неоднородностей реликтового фона механизмом «Сахаровских осцилляций» [8],[12], лежащим в основе его интерпретации в стандартной модели.

В стандартной модели первичные неоднородности, масштабы которых соотвествуют наблюдаемым максимумам пространственного спектра ($l \approx 250, 500, 800$), за время нахождения в зоне устойчивости (в режиме звуковых волн) успевают сделать соответственно 1, 1,5 и 2 полных колебания [12], что и обуславливает «Сахаровские осцилляции» и соответствующие им максимумы на спектре неоднородностей. В модифицированной модели этот период времени многократно возрастает, неоднородности этого масштаба успевают сделать в режиме звуковых волн порядка 10^5 колебаний, что, повидимому, исключает возможность такого объяснения наблюдаемого спектра. Но могут появиться иные механизмы формирования спектра, невозможные в стандартной модели.

Рассмотрим первичный спектр неоднородностей в виде

$$P(k) = Ak^n; \qquad (57)$$

с показателем $n = 1$. На это первичное распределение накладывается последующее затухание, зависящее от волнового числа k как $\exp(Bk^2)$ [12]. Переходя от k к номерам пространственных гармоник l, можем записать зависимость амплитуды неоднородности от номера пространственной гармоники в виде

$$\delta(l) = Al \exp(Bl^2); \qquad (58)$$

где A и B - некоторые константы. При некоторых значениях этих констант форма пространственного спектра $\tau^2(l) \sim \delta^2(l)$ практически совпадает с формой первого пика в распределении $\tau^2(l)$, полученном из наблюдательных данных WMAP [13] (см. Рис. 4).

Поскольку колебания неоднородностей этого масштаба в зоне стабильности представляют собой звуковую волну, длина пробега которой составляет порядка 10^5 длин волн, она должна в процессе своего распространения, в соответствии с законами нелинейной акустики, обогащаться гармониками, что может привести к появлению в спектре дополнительных максимумов, соответствующих этим гармоникам (для 2 и 3 гармоник $l \approx 500$ и $l \approx 800$).

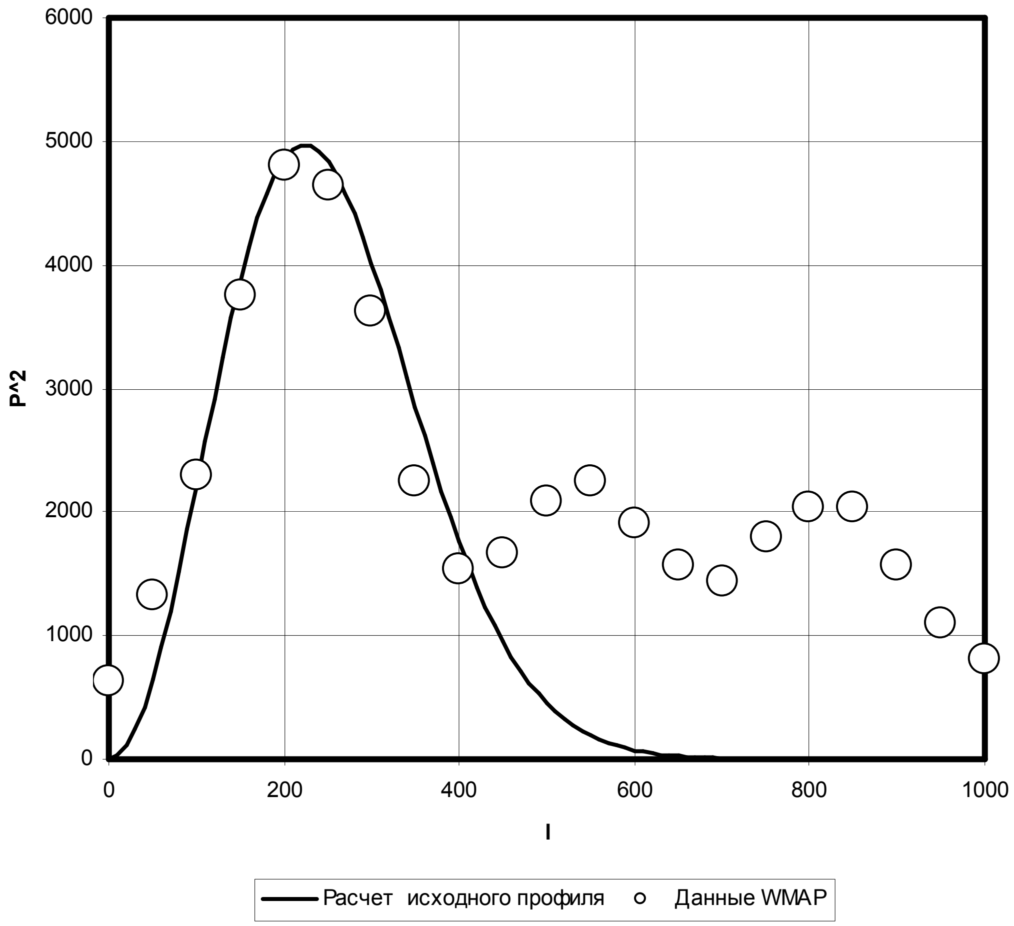

Рис. 4. Сравнение исходного профиля $\tau^2(l)$, расчитанного по выражению (58), с профилем, полученным из наблюдательных данных WMAP [13].

Приведенное рассуждение, разумеется, не претендует на точность и достоверность и приведено здесь лишь в качестве иллюстрации возможного появления в модифицированной модели новых механизмов формирования пространственного спектра реликтового излучения, требующих нетрадиционного подхода к объяснению имеющихся данных.

В вопросе об интерпретации спектра $\tau^2(l)$ в стандартной модели имеется количественно точное объяснение, хотя и требующее привлечения гипотетических субстанций [14]. Наличие этого объяснения рассматривается как надежное подтверждение модели и служит существенным препятствием к анализу альтернативных моделей, в том числе, рассматриваемой в данной работе. Но другая недавно обнаруженная [15] особенность неоднородности микроволнового фона не находит такого объяснения в рамках стандартной модели и даже интерпретируется как возможное свидетельство нарушения требования изотропии пространства, лежащего в основе Теории Относительности, однако естественным образом объясняется в рамках рассматриваемой модифицированной модели, не требуя нарушения основополагающих принципов.

Рассмотрим найденную в [15] корреляцию, интерпретируемую как наличие во Вселенной некой выделенной в пространстве оси симметрии, что эквивалентно нарушению принципа изотропии. На Рис. 5. показано обнаруженное в [15] распределение неоднородностей на небесной сфере (изображение с сайта prl.aps.org).

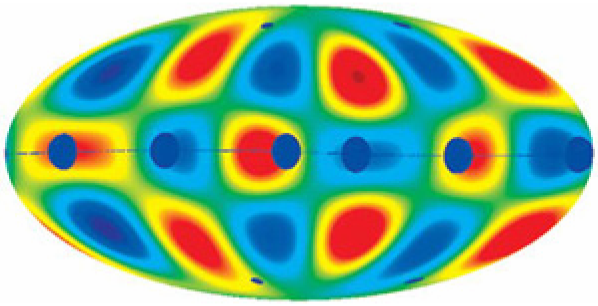

Рис. 5. Обнаруженная в [15] симметрия неоднородностей микроволнового фона на небесной сфере (с сайта prl.aps.org).

Эта картина неоднородностей в рамках стандартной модели интерпретируется как осевая симметрия. Но в рамках модифицированной модели она естественным образом интерпретируется как центральная симметрия, точнее центральная антисимметрия, когда каждой неоднородности соответствует аналогичная неоднородность противоположного знака в противоположной, т.е. центрально симметричной, точке небесной сферы. Эта интерпретация так же, как и в предыдущем примере, основана на более медленной, чем в стандартной модели, динамике развития, при которой не только первичные неоднородности в режиме звуковых волн совершают большое количество колебаний до момента рекомбинации, но и световые волны, освободившиеся в момент рекомбинации и несущие информацию о соответствующем распределении неоднородностей, летят до нас существенно дольше и пролетают существенно большие расстояния, чем в стандартной модели. Эти расстояния превышают длину окружности описываемой нашей моделью закрытой Вселенной. Таким образом, сегодня мы видим световые сигналы, уже неоднократно обернувшиеся вокруг гиперсферы.

Рассмотрим свет, излученный неоднородностью, находящейся в какой-то точке на поверхности гиперсферы, в момент его освобождения при рекомбинации. Наблюдатель находится в другой точке расширяющейся гиперсферы и наблюдает этот сигнал значительно позднее, через несколько оборотов луча вокруг гиперсферы. Нетрудно увидеть, что хотя неоднородность излучала свет во всех направлениях, до нас дошел только тот свет, который распространяется в нашу сторону по дуге большого круга (если говорить в терминах трехмерной модели). При этом, сколько бы полных оборотов этот свет ни сделал по дуге большого круга, он будет возвращаться к нам снова и снова. Поэтому для нас не важно, сколько оборотов он сделал, пока не попал в наш телескоп. Важно то, что свет от одной и той же неоднородности всегда придет к нам по двум путям, соответствующим двум частям большого круга. И если мы в какой-то точке небесной сферы видим неоднородность, соответствующую повышению температуры микроволнового фона (скорость излучившего его вещества направлена к нам - по этой дуге оно приближается), то одновременно мы должны увидеть эту же неоднородность в противоположной точке небесной сферы (сигнал, пришедший по другому отрезку большого круга, то есть «сзади»), но уже соответствующую понижению температуры микроволнового фона (т.к. скорость излучившего его вещества направлена от нас - по этой дуге оно удаляется). Что мы и наблюдаем на Рис. 5.

13. Заключение

Противоречивость стандартной космологический модели Фридмана связана с тем, что она основана на метрике, построенной в пренебрежении ненулевым значением дифференциала масштабного фактора в расширяющейся Вселенной. Учет этой зависимости приводит к модифицированной модели, характеризуюшейся следующими особенностями:

Расширение Вселенной происходит по закону гиперболического косеканса и носит ускоренный характер, что соответствует наблюдательным данным об ускоренном расширении. Его характер отличается от вывода ΛCDM модели [10] о переходе к замедленному расширению при больших значениях красного смещения ($z>0,7$). Однако ускоренное расширение соответствует близко расположенным объектам, а предсказанный ΛCDM моделью период замедленного расширения начинается с расстояний в несколько миллиардов световых лет, что существенно снижает точность и достоверность соответствующих наблюдений. Поэтому данные об ускоренном расширении на настоящем этапе развития представляются более значимыми, чем сообщение об одиночном наблюдении, соответствующем предсказанию ΛCDM модели, при $z = 1,7$ [2].

Время жизни Вселенной оказывается бесконечным, что снимает целый ряд принципиальных противоречий и неопределенностей, свойственных стандартной модели, в том числе вопросы о сингулярности и о том, могло ли что-либо существовать «до Большого Взрыва».

Вселенная оказывается закрытой при любых значениях плотности материи, что снимает противоречие между наблюдаемой плотностью и теоретической моделью закрытой Вселенной. При этом расчетные значения радиуса кривизны пространства для наиболее вероятного значения средней плотности Ω = 0,2 составляет 45 млрд. св. лет, что существенно превышает сегодняшний порог видимости и таким образом вполне согласуется с современными представлениями о практически плоской геометрии пространства.

Линейная скорость увеличения масштабного фактора ни в какой момент времени не превышает половины скорости света, что снимает неопределенность в вопросе о возможности удаления объектов со сверхсветовыми скоростями.

Снимается целый ряд проблем стандартной модели, которые служат основанием сценария раздувающейся Вселенной. В том числе «проблема плоскостности», формулируемая как вопрос о причинах точного соответствия плотности материи в ранней Вселенной критическому значению и являющаяся основанием «антропного принципа».

Исчезает «проблема энергии вакуума» или космологической постоянной, основанная на противоречии стандартной модели с наблюдаемой плотностью и на интерпретации данных об ускоренном расширении (решается в модифицированной модели без введения этих гипотетических субстанций). Введенные в стандартную модель вынужденно, для компенсации ее противоречивости, эти странные субстанции сами полны противоречий. Космологическая постоянная, как утверждается, обладает отрицательным давлением, численно равным плотности энергии. Это загадочное свойство объясняется не физически, а сугубо арифметически - применением одной и той же постоянной (Λ) с учетом сигнатуры метрического тензора ко всем ненулевым компонентам тензора энергии-импульса, которые для макроскопических тел и представляют собой плотность энергии и давление [6]. При этом утверждается, что отрицательное давление соответствует антигравитации, хотя антигравитации скорее соответствовало бы положительное давление, не притягивающее, а расталкивающее объекты. Попытка приписать этой субстанции физический смысл как некому энергетическому свойству вакуума выглядит не менее странно - плотность этой энергии, вытекающая из попытки объяснения космологических явлений, более чем на 120 порядков (!) отличается от величины из квантовой механики [10].

Модифицированная модель, рассматривающая две временные шкалы, позволяет не только объяснить наблюдаемые явления без введения этой странной сущности (что представляется положительным, по крайней мере с точки зрения «бритвы Оккама»), но и объяснить ее природу в стандартной модели. Необходимость введения в нее дополнительного гравитирующего агента может быть связана с неоднородностью используемой временной шкалы. Неоднородность времени, то есть переменность его единицы, приводит к появлению во всем пространстве фиктивных ускорений (сил), эквивалентных гравитационным силам, создаваемым однородным гравитирующим агентом. Оценка неоднородности времени на шкале времени стандартной модели, основанная на полученных в данной работе результатах, показывает, что она может приводить к появлению в пространстве фиктивных ускорений, эквивалентных создаваемым однородной гравитирующей субстанцией с относительной плотностью Ω_{eq}, близкой к плотности космологической постоянной Ω_Λ в ΛCDM модели (Дополнение А). При этом суммарная плотность ($\Omega_\Sigma=\Omega+\Omega_{eq}$) практически во всем диапазоне возможных значений Ω оказывается больше единицы, что указывает на закрытую Вселенную, несмотря на $\Omega<1$.

В качестве надежного подтверждения стандартной модели с введенным в нее сценарием раздувающейся Вселенной и космологической постоянной (ΛCDM модель) рассматривается хотя и требующая введения гипотетической субстанции, но численно точная интерпретация наблюдательных данных об анизотропии реликтового излучения. Однако ее наличие, разумеется, не может служить доказательством невозможности других интерпретаций, основанных на иной динамике развития и невозможных в рамках стандартной модели. Например, связанных с возможностью появления в первичном спектре неоднородностей, длительное время развивающихся в режиме звуковых волн, высших гармоник в соответствии с законами нелинейной акустики.

При этом недавно обнаруженная симметрия неоднородностей реликтового излучения интерпретируется в рамках стандартной модели как осевая симметрия Вселенной и возможное свидетельство нарушения основополагающего требования изотропии пространства, однако объясняется в рамках модифицированной модели как закономерная центральная антисимметрия, естественным образом вытекающая из более медленной динамики развития и не связанная с нарушением основополагающих принципов.

Существенной особенностью модифицированной модели оказывается зависимость гравитационной постоянной от времени, однако, на наш взгляд, это также не может служить основанием для ее признания противоречащей научным представлениям, т.к. дискуссия о том, постоянна ли гравитационная постоянная, продолжается уже более полувека (см., например, [1],[12]) и пока не завершена.

Литература

1. С. Вейнберг. Гравитация и космология: принципы и приложения общей теории относительности. - М.: "Мир", 1975. с 507-511. (Weinberg S., Gravitation and Cosmology: Principles and applications of the General Theory of Relativity, John Wiley and Sons, Inc., 1972).

2. Riess A G et al. Astron. J 116 1009 (1998); Perlmutter S et al. Astrophys. J 517 565 (1999).

3. Краткая история времени: от большого взрыва до черных дыр / Стивен Хокинг. СПб.: Амфора, 2005 - 268 с. (Stephen W. Hawking. A Brief History of Time From the Big Bang to Black Holes)

4. astro-ph/0310808 Tamara M. Davis, Charles H. Lineweaver. Expanding Confusion: common misconceptions of cosmological horizons and the superluminal expansion of the Universe.

5. А Эйнштейн. Основы общей теории относительности *(Die Grunlage der allgemeinen Relativitatstheorie, Ann. d. Phys., 49, 769 (1916)).* В кн. «Альберт Эйнштейн и теория гравитации. Сборник статей». - М.: «Мир», 1979., с. 146-189.

6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: В 10 т. Т. II. Теория поля. - 8-е изд., стереот. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 536 с. *(Landau L.D., Lifshitz E.M. Course of Theoretical Physics: The Classical Theory of Fields. Vol.2.)*

7. А Эйнштейн. Вопросы космологии и общая теория относительности *(Kosmologishe Betrachungen zur allgemeinen Relativitatstheorie. Sutzungsher preuss. Akad. Wiss., 1917, 1, 142-152)*. В кн. А Эйнштейн, собрание научных трудов, т.1, "Наука", М., 1965, С. 601-612.

8. Реликтовое излучение Вселенной / П.Д. Насельский, Д.И. Новиков, И.Д. Новиков. - М.: Наука, 2003. - с. 55.

9. А.Д. Линде. Раздувающаяся Вселенная, УФН, т. 144, № 2, октябрь 1984 г., с.178-214.

10. А.Д. Чернин. Физический вакуум //УФН, т.171, No.11, с.1153-1174 (2001)

11. Дж. Ф. Смут III. Анизотропия реликтового излучения: открытие и научное значение (Нобелевская лекция. Стокгольм, 8 дек. 2006 г.)., УФН, т. 177, № 12, декабрь 2007 г., с.1294-1317.

12. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Строение и эволюция Вселенной.- М.- «Наука»,1975, 736с.

13. http://www.phy.duke.edu/~kolena/cmb.htm

14. http://map.gsfc.nasa.gov/resources/camb_tool/cmb_plot.swf

15. K. Land, J. Magueijo. Examination of Evidence for a Preferred Axis in the Cosmic Radiation Anisotropy. Phys. Rev. Lett. 95, 071301 (2005).

ДОПОЛНЕНИЕ А

(космологическая постоянная как проявление неоднородности времени)

«Мы не только измеряем движение временем,
но и время движением - вследствие того, что
они определяются друг другом»
(Аристотель. Физика)

Когда мы говорим о времени как мере движения, то есть происходящих в мире изменений, самым простым объектом являются изменения, последовательно происходящие с одним и тем же физическим объектом - в этом случае нет необходимости связывать время с пространственными переменными и оно входит в схему измерений в чистом виде. Измерение производится путем сравнения исследуемых изменений с какими-то другими изменениями, взятыми за эталон. Чтобы мы могли пользоваться процессом как эталоном, он не должен быть подвержен влияниям случайных воздействий. В качестве эталона используются удовлетворяющие этому требованию периодические процессы.

Если мы возьмем два разных периодических процесса и обнаружим, что период одного из них постепенно изменяется по отношению к другому, мы не сможем определить, какой из них остается постоянным, а какой меняется - мы можем сказать только, что один из них меняется по отношению к другому. В 30х-40х годах прошлого века Э.А. Милн, который предложил ввести для описания космологических явлений новую временную шкалу, в которой единица времени изменяется пропорционально возрасту Вселенной, писал: *«не существует равномерного естественного масштаба, так как мы не можем сказать, что имеем в виду под словом "равномерный" в отношении времени; мы не можем схватить текущую минуту и поставить рядом с ней последующую. Иногда говорят, что равномерный масштаб времени определяется периодическими явлениями. Однако разрешите задать вопрос: может ли кто-либо нам сказать, что два следующие друг за другом периода равны?»* [1А].

Таком образом, если имеются две временные шкалы, и эталон (единица времени) одной из этих шкал изменяется относительно другой, то отсчитываемое по одной из этих шкал время неоднородно.

Покажем, что неоднородность времени эквивалентна появлению в пространстве неких фиктивных ускорений и, следовательно, сил, действующих на движущиеся тела. Действительно, поскольку в расширяющейся и остывающей Вселенной каждая последующая единица времени включает в себя меньшее количество событий (например, периодов равновесного теплового излучения), т.е. с этой точки зрения укорачивается, то для удаляющихся друг от друга тел это может быть эквивалентно силе притяжения, уменьшающей скорость разбегания. При равномерном расширении, т.е. при линейной зависимости скорости от расстояния, эта фиктивная сила должна быть пропорциональна расстоянию между телами.

Смысл космологической постоянной Эйнштейна или «темной энергии», рассматриваемой в качестве необходимого элемента ΛCDM модели, связан с кривизной пространства-времени: «*введение в плотность лагранжевой функции постоянного члена, вообще не зависящего от состояния поля, означало бы приписывание пространству-времени принципиально неустранимой кривизны, не связанной ни с материей, ни с гравитационными волнами*» [2A]. Но неоднородность времени как раз и представляет собой такую принципиально неустранимую кривизну, не связанную с материей и гравитационным полем. В связи с этим представляется целесообразным рассмотреть, не может ли представление о необходимости существования в нестационарной Вселенной космологической постоянной («темной энергии») быть обусловлено фиктивными силами, возникающими из-за того, что в выражениях ОТО используется неоднородное время.

Поскольку время есть мера происходящих изменений, естественно определить однородность времени как равенство числа последовательных изменений (событий), происходящих в течение каждой его единицы. Это можно представить в виде зависимости $t(N)$ где t - время, N - количество последовательных изменений с некоторого момента, выбранного в качестве начала отсчета. Тогда однородность времени будет соответствовать линейной зависимости ($dt/dN = const$, $d^2t/dN^2 = 0$), а величина неоднородности может быть определена через d^2t/dN^2. Для расчета неоднородности требуются две шкалы, одна из которых (t_1) служит для отсчета событий и априори считается однородной ($dt_1/dN = const$). Тогда неоднородность второй может быть определена как $d^2t_2/dN^2 = d^2t_2/dt_1^2$.

Модифицированная модель как раз и рассматривает две временные шакалы, одна из которых относится к наблюдателю, а другая - к центру масс Вселенной. Соотношение приращений времени в системах координат наблюдателя (dt_{obs}) и центра масс (dt) дается выражением:

$$dt_{obs}/dt = 1/\alpha; \qquad (1A)$$

где α - относительное значение масштабного фактора a ($\alpha = a/2a_0$), $a_0 = 2GM/3\pi c^2 = const$.

Считая однородным время в системе координат наблюдателя t_{obs}, т.е. в нашем 3х-мерном пространстве, попытаемся оценить эквивалентные силы, появляющиеся вследствие неоднородности времени t, входящего в уравнения поля. Рассмотрим тело, находящееся на расстоянии D от наблюдателя и удаляющееся от него вследствие расширения Вселенной со скоростью V, связанной с D по закону Хаббла $V = HD$. Если время t неоднородно, т.е. продолжительность единицы этого времени в моменты «1» и «2» с интервалом dt различна, будут различны и пути, пройденные телом в единицу времени t, т.е. его скорости.

Оценим величину эквивалентного ускорения ξ_e:

$$\xi_e = [(dD/dt)_2-(dD/dt)_1] /dt = [(dD/dt_{obs})(dt_{obs}/dt)_2-(dD/dt_{obs})(dt_{obs}/dt)_1] /dt ; \qquad (2A)$$

Из однородности времени t_{obs} следует, что dD/dt_{obs}=const. Вынесем за скобки:

$$\xi_e = (dD/dt_{obs})[(dt_{obs}/dt)_2-(dt_{obs}/dt)_1] /dt = (dD/dt_{obs})(d^2t_{obs}/dt^2); \qquad (3A)$$

Учитывая, что $dD/dt_{obs} = HD$, получим выражение для эквивалентного ускорения через вторую производную d^2t_{obs}/dt^2:

$$\xi_e = HD(d^2t_{obs}/dt^2). \qquad (4A)$$

Зависимость $\alpha(t)$ в модифицированной модели дается выражением:

$$\alpha(t) = \cos(ct/2a_0). \qquad (5A)$$

Получим выражение для d^2t_{obs}/dt^2 из (1A) и (5A) в виде:

$$d^2t_{obs}/dt^2 = d/dt\,(1/\alpha) = (c/2a_0)\,(1-\alpha^2)^{1/2}\,\alpha^{-2}; \qquad (6A)$$

Текущие значения α и a_0 в модифицированной модели связаны с относительной плотностью материи $\Omega = \mu/\mu_K$ выражениями:

$$\alpha = \Omega^{1/2}\,(\Omega+1)^{-1/2}. \qquad (7A)$$

$$a_0 = (c/2H)\,\Omega^{-5/4}(\Omega+1)^{3/4}, \qquad (8A)$$

где c - скорость света, H - постоянная Хаббла в настоящее время.

Подставляя (6A),(7A),(8A) в (4A), получим окончательно:

$$\xi_e = H^2D\,\Omega^{1/4}\,(\Omega+1)^{-1/4}. \qquad (9A)$$

Эквивалентное ускорение ξ_e согласно (9A) растет прямо пропорционально расстоянию D от наблюдателя аналогично гравитационному ускорению, создаваемому центрально-симметричной гравитирующей массой постоянной плотности. По закону всемирного тяготения Ньютона, гравитационное ускорение ξ_g на расстоянии D от центра центрально-симметричной массы плотностью μ равно:

$$\xi_g = (4/3)\pi G\mu D; \qquad (10A)$$

где G -гравитационная постоянная.

Из условия $\xi_e = \xi_g$ получим, что эквивалентное ускорение ξ_e оказывается равным ускорению, создаваемому в пространстве однородной гравитирующей массой с центром в точке расположения наблюдателя и плотностью:

$$\mu_e = (3H^2/4\pi G)\,\Omega^{1/4}\,(\Omega+1)^{-1/4}. \qquad (11A)$$

Переходя к относительной плотности $\Omega_{eq} = \mu_e/\mu_K$, где $\mu_K=3H^2/8\pi G$, получим, что фиктивные ускорения, возникающие в пространстве благодаря неоднородности времени, эквиваленты гравитационным ускорениям, создаваемым субстанцией с плотностью Ω_{eq}, связанной с плотностью материи Ω выражением:

$$\Omega_{eq} = 2\Omega^{1/4}(\Omega+1)^{-1/4}. \qquad (12A)$$

Предположив, что итоговая плотность, определяющая параметры Вселенной в стандартной модели, складывается из плотности реальной материи и эквивалентной плотности, являющейся прототипом космологической постоянной или «темной энергии», рассчитаем значения эквивалентной и суммарной ($\Omega_\Sigma=\Omega_{eq}+\Omega$) плотности для разных Ω :

Ω	Ω_{eq}	$\Omega_\Sigma = \Omega_{eq} + \Omega$
0,05	0,93	0,98
0,1	1,10	1,20
0,2	1,28	1,48
0,3	1,39	1,69

Рассчитанная по выражению (12А) эквивалентная плотность Ω_{eq}, обусловленная неоднородностью времени, несколько превышает плотность «темной материи» в ΛCDM модели (при Ω=0,2 Ω_Λ=0,8, Ω_Σ=1). Суммарная плотность Ω_Σ практически во всем диапазоне возможных значений плотности материи оказывается больше единицы.

Наряду со смысловым совпадением неоднородности времени и космологической постоянной как *«принципиально неустранимой кривизны пространства-времени, не связанной ни с материей, ни с гравитационными волнами»* [2А], это позволяет предположить, что представления о космологической постоянной могут быть связаны с неоднородностью времени на используемой временной шкале.

Литература

1A. Milne E.A. Kinematic Relativity. Oxford, 1948, p. 5.

2А. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: В 10 т. Т. II. Теория поля. - 8-е изд., стереот. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - с. 478.