

УДК: 524.8

ТЕМПЕРАТУРА РЕЛИКТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В
КОНФОРМНОЙ КОСМОЛОГИИВ.В.ПАПОЯН^{1,2}, В.Н.ПЕРВУШИН², Д.В.ПРОСКУРИН²

Поступила 12 февраля 2003

Принята к печати 16 апреля 2003

Предложена схема, которая позволяет объяснить происхождение наблюдаемой температуры реликтового излучения, если рассматривать это излучение как продукт распада первичных векторных бозонов, в рамках конформной космологии типа Хойла-Нарликара.

1. *Введение.* К наиболее фундаментальным утверждениям современной космологии относятся утверждения о возникновении и эволюции Вселенной. Основой для этих утверждений служат данные астрофизических наблюдений и их теоретическая интерпретация. Результаты астрофизических наблюдений можно условно подразделить на три категории:

1) результаты измерения предсказанной Фридманом [1] и обнаруженной Хабблом [2] зависимости красного смещения спектральных линий атомов космических объектов от их расстояния до Земли;

2) результаты измерений по распределению химических элементов во Вселенной, которые свидетельствуют о ничтожно малом вкладе видимой барионной материи (около 3%) в космическую эволюцию [3] и несут определенную информацию об уравнении состояния материи в эпоху первичного нуклеосинтеза;

3) результаты измерения параметров реликтового излучения с наблюдаемой температурой $\sim 2.7\text{K}$, которое возникло в результате отделения вещества от радиации при больших значениях ($z \sim 1000$) красного смещения и позволяет судить об эволюции ранней Вселенной [4].

В последние годы получены новые данные [5,6] для значений красного смещения $z \sim 1$ и $z \sim 1.7$. Эти данные отражают состояние "вещества", которое дает основной вклад в космическую эволюцию на расстояниях, сравнимых с размером Вселенной, и свидетельствуют о том, что наша Вселенная заполнена, в основном, не массивной "пылью" далеких и потому невидимых галактик, как предполагалось ранее, а загадочным веществом совершенно другой природы, с другим уравнением состояния, названным *Квинтэссенцией* [7,8].

Во фридмановской космологии [1] данные наблюдений принято интерпретировать как свидетельство расширения Вселенной. Однако

предполагая, что вместе с расширением Вселенной "расширяются" все длины, необходимо ответить на вопрос - изменяется ли при этом эталон измерения длины¹, так как все перечисленные данные получены путем измерений в единицах определенных эталонов.

В первых моделях сценария горячей Вселенной [10] и в инфляционной модели эволюции Вселенной [11] предполагается, что:

1) первичная материя представляет собой огненный шар безмассовых частиц, испытывающих в ходе эволюции ряд фазовых переходов;

2) начальные данные эволюции определяются абсолютными планковскими единицами: массой, длиной, временем;

3) существует некий абсолютный эталон измерения длины, который не изменяется вместе с расширяющейся Вселенной.

В предыдущей работе [12] предложена модель, использующая относительный эталон измерения, который расширяется вместе со Вселенной, что вполне естественно, если полагать, что приборов для измерения абсолютных длин не существует, а измеримыми являются только отношения длин к эталону. В такой модели результаты измерений не могут зависеть от космологического фактора. Подчеркнем, что такое исключение масштабного фактора не означает отсутствия космической эволюции, так как действие и уравнения ОТО в этом подходе приводят к эволюции масс. Космический масштаб интервалов длин в единицах относительного эталона измерения становится масштабом масс, которые постоянно растут, а масса Планка, наряду с другими измеряемыми массами (массами элементарных частиц, например), становится динамической переменной - так называемой *бегущей массой Планка*. В таком подходе спектр фотонов, испущенных атомами далеких звезд два миллиарда лет тому назад, "запоминает" размер атома, который определяется его массой. Этот спектр сравнивается со спектром таких же атомов на Земле, но с увеличенной массой. Результатом такого сравнения становится наблюдаемое красное смещение спектральных линий от атомов далеких звезд [13,14].

Пересчет данных астрофизических наблюдений в терминах относительного эталона (конформного времени, конформной плотности, температуры, бегущей массы Планка и других) приводит к совпадению параметров космической эволюции и физики элементарных частиц [14-16], которые можно было бы считать случайными, если бы их не было так много. В частности, оказалось, что в единицах относительного эталона измерения данные по зависимости красного смещения от расстояния

¹ С необходимостью определения эталона измерения в теории поля столкнулся еще Максвелл. Во введении к "Трактату об электричестве и магнетизме" Максвелл писал: "С математической точки зрения наиболее важным понятием при рассмотрении любого явления является понятие измеряемой величины. Поэтому я буду подходить к электрическим явлениям главным образом с точки зрения их измеримости, описывая методы измерения и определяя эталоны, от которых они зависят" [9].

сверхновых [5,6] и данные по нуклеосинтезу [3] соответствуют одному и тому же предельно жесткому уравнению состояния [14]. Такое уравнение состояния хорошо моделируется свободным и однородным скалярным полем [15], которое, следуя терминологии работы [7], будем называть "квинтэссенцией", однако подчеркнем, что такое определение отличается от общепринятого. Таким образом, можно считать, что относительный эталон измерения значительно упрощает сценарии эволюции Вселенной по сравнению со всеми сценариями, использующими абсолютный эталон.

Введение относительного эталона превращает планковские абсолюты в динамические параметры, зависящие от бегущей массы Планка, поэтому его использование не совместимо с гипотезой о существовании планковской эпохи ранней Вселенной, а квантование полей Стандартной Модели (СМ) в рамках теории возмущений становится несовместимым с гипотезой первичного "огненного шара безмассовых частиц", так как нормированная волновая функция продольных векторных бозонов оказывается сингулярной при нулевой массе [17,18]. Можно показать, в частности, что в рамках теории, объединяющей СМ и эйнштейновскую теорию гравитации с использованием относительного эталона, существуют такие начальные значения параметра Хаббла и масс, для которых происхождение наблюдаемой материи объясняется космологическим рождением массивных векторных бозонов из вакуума в режиме предельно жесткого уравнения состояния [16-18]. В этом случае реликтовое излучение возникает как продукт распада векторных бозонов и наследует температуру этих бозонов ≈ 2.7 К.

В предыдущей работе [12] была построена космологическая модель, объединяющая СМ теории элементарных частиц на фоне риманова пространства-времени с Общей Теорией Относительности (ОТО) в предположении об относительности эталонов измерения. В рамках предложенной модели в конформно-плоской метрике был рассмотрен эффект космологического рождения массивных векторных бозонов из вакуума, при этом интеграл плотности числа рожденных частиц в низшем порядке теории возмущения оказался расходящимся. Эта расходимость, на наш взгляд, является следствием установленного в [19,20] факта отсутствия безмассового предела теории векторного поля с массой. Далее, исходя из естественного предположения о том, что окончательным продуктом распада первичных бозонов является излучение, удалось показать, что при температуре порядка массы бозонов Вселенная в стадии доминантности излучения порождает столько бозонов с плотностью порядка T^3 , сколько их нужно для объяснения самого существования стадии радиационной доминантности.

В настоящей работе, во многом основанной на следствиях модели предыдущей работы [12], предложена правдоподобная схема, которая

позволяет понять происхождение наблюдаемой температуры реликтового излучения, рассматриваемого как продукт распада первичных векторных бозонов в рамках конформной космологии типа Хойла-Нарликара [13].

2. *Уравнение состояния модели.* Для решения проблемы происхождения материи во Вселенной в контексте обнаруженного эффекта интенсивного рождения векторных бозонов был предложен сценарий холодной Вселенной с неизменной температурой. В рамках предложенной модели, согласно выводам работы [21], наблюдаемым временем является конформное время. Предполагая также, что состояние вещества во Вселенной хорошо моделируется предельно жестким уравнением состояния, нетрудно получить

$$a^2(\eta) = a_I^2(1 + 2 H_I \eta) = (1 + 2 H_0(\eta - \eta_0)), \quad (1)$$

что согласуется с твердо установленными закономерностями первичного нуклеосинтеза (см., например, [3]). В последнем соотношении конформное время η определяется согласно

$$d\eta = \bar{N}_0(x^0) dx^0, \quad (2)$$

где $\bar{N}_0(x^0)$ - функция хода времени в известной АДМ параметризации, a_I и H_I - первичные значения космического масштаба и параметра Хаббла, а $a_0 = 1$ и H_0 - их современные значения, причем, ввиду того, что в ходе эволюции Вселенной сохраняются их комбинации, между этими величинами существует связь

$$a_I^2 H_I = a^2(\eta) H(\eta) = H_0. \quad (3)$$

Поскольку в дальнейшем предельно жесткое уравнение состояния будет привлечено для оценки температуры реликтового излучения, уместно несколько подробнее остановиться на его использовании в качестве модели состояния вещества Вселенной. Во-первых, как показано в [14], предельно жесткое уравнение состояния хорошо согласуется с последними данными по зависимости красного смещения от расстояния до сверхновых и поэтому пригодно для описания современной стадии ускоряющейся эволюции. Во-вторых, предельно жесткая стадия в конформной космологии не противоречит принятому описанию химического состава Вселенной.

В работе [12] реликтовое излучение рассматривается как конечный продукт распада первичных векторных бозонов. Нетрудно убедиться, что рождение пары каких-либо массивных частиц во Вселенной возможно лишь тогда, когда их масса $M_\nu(\eta = 0) = M_I$ больше первичного параметра Хаббла, т.е. $M_I/H_I = \gamma_\nu \geq 1$. Действительно, первичное значение параметра Хаббла H_I задает естественную единицу времени $\eta_I = 1/2 H_I$ как минимальное время жизни Вселенной и, как следует из соотношения неопределенности для энергии $\delta E \eta \geq \hbar$, характерное время всех физических

процессов с изменением энергии δE меньше этого времени жизни $\eta_I = 1/2 H_I$, поэтому ясно, что $M_I \geq H_I$.

3. *Оценка температуры реликтового излучения.* Чтобы устранить расходимость в интеграле для плотности родившихся частиц [22]

$$n_\nu(\eta) = \frac{1}{2\pi^2} \int_0^\infty dq q^2 [\mathcal{N}^{\parallel}(q, \eta) + 2\mathcal{N}^{\perp}(q, \eta)] \rightarrow \infty \quad (4)$$

и оценить температуру реликтового излучения, умножим функцию распределения первичных бозонов $\mathcal{N}^{\parallel}(q, \eta)$ и $\mathcal{N}^{\perp}(q, \eta)$ [12] на функцию распределения Бозе-Эйнштейна, положив постоянную Больцмана $k_B = 1$

$$\mathcal{F}(T, q, M_\nu(\eta), \eta) = \left\{ \exp \left[\frac{\omega_\nu(\eta) - M_\nu(\eta)}{T} \right] - 1 \right\}^{-1}. \quad (5)$$

Выражение (4) для плотности частиц запишем в виде

$$n_\nu(T, \eta) = \frac{1}{2\pi^2} \int_0^\infty dq q^2 \mathcal{F}(T, q, M(\eta), \eta) [\mathcal{N}^{\parallel}(q, \eta) + 2\mathcal{N}^{\perp}(q, \eta)]. \quad (6)$$

В конформной космологии температура является неизменной величиной, и если исходить из отмеченного выше обстоятельства о том, что состояние материи описывается предельно жестким уравнением состояния, то, как следствие (3), в этих условиях единственной сохраняющейся величиной будет

$$M_I^2 H_I = M^2(0) H_0.$$

Теперь, полагая, что начальные значения температуры наследуют начальные значения параметра Хаббла

$$T = M_I = H_I, \quad (7)$$

закключаем, что

$$T = [M_I^2 H_I]^{1/3} = [M^2(0) H_0]^{1/3} = 2.76 \text{ К}, \quad (8)$$

где $M(0)$ - современное значение массы векторного W -бозона. Покажем, что такое совпадение температуры (8) с температурой реликтового излучения не случайно. Действительно, рассмотрим разные значения интеграла (6) при условии (7) и предполагая, что характерная продолжительность всех процессов во Вселенной не должна превышать минимального времени существования Вселенной. Вычисления показывают, что плотность векторных бозонов (6) в течение короткого времени $\eta_I = 1/2 H_I$ достигает определенного значения и в дальнейшем лишь слабо зависит от времени, другими словами, достаточно быстро устанавливается квазиравновесное состояние. С другой стороны, рис.1 работы [12] демонстрирует, что доминирующим в интеграл (6) является вклад больших импульсов, а это означает релятивистскую зависимость плотности от температуры

$$n_\nu = CT^3.$$

Численный расчет (6) дает для константы C следующее значение:

$$C = \frac{n_\nu}{T^3} = \frac{1}{2\pi^2} \{ [1.877]^{11} + 2[0.277]^4 \} = 2.432, \quad (9)$$

где вклады продольных и поперечных бозонов обозначены как \parallel и \perp , соответственно. Расчеты показывают, что температура векторных бозонов устанавливается за время меньшее, чем время их окончательного формирования.

Система оказывается в устойчивом термодинамическом равновесии, если время, за которое устанавливается температура векторных бозонов (время релаксации)

$$\eta_{relax} = \frac{1}{n(T^3)\sigma_{scat}} \leq \frac{1}{2H_I}, \quad (10)$$

будет меньше времени их формирования, которое можно оценить через время жизни Вселенной $\eta_I = 1/2H_I$. Расчеты показывают, что это выполняется. С другой стороны, время жизни родившихся в ранней Вселенной бозонов в безразмерных единицах $\tau_L = \eta_L/\eta_I$, где $\eta_I = (2H_I)^{-1}$, можно оценить, используя уравнение состояния $a^2(\eta) = a_I^2(1 + \tau_L)$ и определение времени жизни W -бозонов в Стандартной Модели

$$1 + \tau_L = \frac{2H_I \sin^2\theta_W}{\alpha_{QED} M_W(\eta_L)} = \frac{2\sin^2\theta_W}{\alpha_{QED}\gamma_\nu\sqrt{1 + \tau_L}}, \quad (11)$$

где θ_W - угол Вайнберга, $\alpha_{QED} = 1/137$ и $\gamma_\nu = M_I/H_I \geq 1$.

Решение уравнения (11)

$$\tau_L + 1 = \left(\frac{2\sin^2\theta_W}{\gamma_\nu\alpha_{QED}} \right)^{2/3} \approx \frac{16}{\gamma_\nu^{2/3}} \quad (12)$$

дает оценку времени жизни родившихся бозонов при $\gamma_\nu = 1$

$$\tau_L = \frac{\eta_L}{\eta_I} \approx \frac{16}{\gamma_\nu^{2/3}} - 1 = 15, \quad (13)$$

которое в 15 раз больше времени релаксации. Таким образом, время релаксации меньше времени формирования векторных бозонов, и мы можем ввести понятие температуры векторных бозонов, которую наследуют конечные продукты их распада, т.е. гамма-кванты, формирующие, согласно современным представлениям, реликтовое излучение. Можно показать, что температура фотонов совпадает с постоянной температурой первичных бозонов $T = 2.76$ К. Действительно, если один фотон возник от аннигиляции продуктов распада W^\pm -бозонов, а другой фотон - Z -бозонов, то плотность фотонов с постоянной температурой

$$\frac{n_\gamma}{T^3} = \frac{1}{\pi^2} \{2.432\}. \quad (14)$$

В этом случае их температура будет иметь порядок температуры реликтового излучения $T = T_{CMB} = 2.73$ К.

Температура излучения, возникшего в результате аннигиляции и распада W^\pm - и Z -бозонов, в рамках рассматриваемой модели не меняется со временем, а простая оценка, выполненная выше, дает значение удивительно близкое к наблюдаемой температуре реликтового излучения, рассматриваемой как фундаментальная константа - "интеграл движения" предельно жесткого уравнения состояния (8).

4. *Заключение.* В работе предлагается объяснение происхождения температуры реликтового излучения как продукта распада первичных векторных бозонов в рамках конформной космологии с относительным эталоном измерения. Показано, что температура реликтового излучения возникает как следствие сохранения связанной с предельно жестким уравнением состояния комбинации параметра Хаббла и бегущей массы Планка и оценивается ~ 2.76 К.

¹ Ереванский государственный университет,
Армения, e-mail: vrap@ysu.am

² Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

THE TEMPERATURE OF COSMIC MICROWAVE BACKGROUND RADIATION IN CONFORMAL COSMOLOGY

V.PAPOYAN^{1,2}, V.PERVUSHIN², D.PROSKURIN²

A scheme permitting the explanation of the origin of the observed temperature of the CMB radiation, considered as a product of the decay of primary vector bosons within the framework of conformal cosmology of the Hoyle-Narlikar type, is proposed.

Key words: *Cosmology:relict radiation:temperature - cosmology:theory*

ЛИТЕРАТУРА

1. *A.A.Friedmann*, *Z. für Phys.*, **10**, 377, 1922; *Ibid*, **21**, 306, 1924; *А.А.Фридман*, *Мир как пространство и время*, Наука, М., 1965.
2. *E.Hubble*, *The Realm of the Nebulae*, New Haven, Yale Univ. Press, 1936; repr. Dover Publications, Inc., N.Y., 1969.
3. *S.Weinberg*, *First Three Minutes. A modern View of the Origin of the Universe*, Basic Books, Inc., Publishers, New-York, 1977.
4. *J.R.Bond, P.Ade, A.Balbi et al.*, (MaxiBoom collaboration), *CMB Analysis of Boomerang & Maxima & the Cosmic Parameters $\Omega_{tot}, \Omega_b h^2, \Omega_{cdm} h^2, \Omega_\Lambda, n_s$* , in: *Proc. IAU Symposium 201 (PASP), CITA-2000-65*, 2000. [astro-ph/0011378].
5. *A.G.Riess et al.*, *Astron. J.*, **116**, 1009, 1998; *S.Perlmutter et al.*, *Astrophys. J.*, **517**, 565, 1999.
6. *A.G.Riess et al.*, *Astrophys. J.*, **560**, 49, 2001; [astro-ph/0104455].
7. *I.Zlatev, L.Wang, P.J.Steinhardt*, *Phys. Rev. Lett.*, **82**, 896, 1999; *C.Wetterich*, *Nucl. Phys.*, **B302**, 668, 1988.
8. *Д.Чернин*, *УФН*, **171**, 11, 2001.
9. *Д.К.Максвелл*, *Трактат об электричестве и магнетизме*, Наука, М., т.1, 1989, с.10.
10. *G.Gatow*, *Phys. Rev.*, **70**, 572, 1946; *ibid*, **74**, 505, 1948.
11. *А.Д.Линде*, *Физика элементарных частиц и инфляционная космология*, Наука, М., 1990.
12. *В.В.Папоян, В.Н.Первушин, Д.В.Проскурин*, *Астрофизика*, **46**, 119, 2003.
13. *J.V.Narlikar*, *Space Sci. Rev.*, **50**, 523, 1989.
14. *D.Behnke, D.B.Blaschke, V.N.Pervushin, D.V.Proskurin*, *Phys. Lett.*, **B530**, 20, 2002; [gr-qc/0102039].
15. *V.N.Pervushin, D.V.Proskurin, A.A.Gusev*, *Grav. Cosmology*, **8**, 181, 2002.
16. *D.Blaschke, V.Pervushin, D.Proskurin et al.*, *Cosmological creation of vector bosons and CMB*, gr-qc/0103114; hep-th/0206246; *V.N.Pervushin, D.V.Proskurin*, *Proc. V International Conference on Cosmoparticle Physics (Cosmion-2001) dedicated to 80-th Anniversary of Andrei D.Sakharov (21-30 May 2001, Moscow-St.Petersburg, Russia)*; gr-qc/0106006.
17. *Г.Венцель*, *Введение в квантовую теорию волновых полей*, ОГИЗ-ГИТТЛ. М., 1947.
18. *Н.-P.Pavel, V.N.Pervushin*, *Int. J. Mod. Phys.*, **A14**, 2285, 1999.
19. *В.И.Огиевский, И.В.Полубаринов*, *ЖЭТФ*, **41**, 246, 1961.
20. *А.А.Славнов, Л.Д.Фаддеев*, *ТМФ*, **3**, 18, 1970.
21. *M.Pawlowski, V.V.Papoyan, V.N.Pervushin, V.I.Smirichinski*, *Phys. Lett.*, **B444**, 293, 1998.
22. *G.L.Parker*, *Phys. Rev. Lett.*, **21**, 562, 1968; *Phys. Rev.*, **183**, 1057, 1969; *Phys. Rev.*, **D3**, 346, 1971.