

В. А. Короткий

Первоначальный нуклеосинтез в теории «горячей вселенной» с вращением

В статье предлагается решение «проблемы гелия» во Вселенной, на основе космологической модели Бьянки с расширением и вращением в рамках калибровочного подхода к гравитации (теории Эйнштейна – Картана).

Ключевые слова: вращение Вселенной, космология, нуклеосинтез.

V. A. Korotky

Initial Nucleosynthesis in the Theory of “the Hot Universe” with Rotation

In the article the solution of “a helium problem” in the Universe, on the basis of the cosmological model of Bianka with extension and rotation in frameworks of the metering approach to gravitation (Einstein-Kartan’s theory) is offered.

Keywords: the Universe rotation, cosmology, nucleosynthesis.

Идея о том, что наш мир не только довольно быстро расширяется, но и медленно вращается, не противоречит ни здравому смыслу, ни современным наблюдениям [3, 5]. Е. Уиттекер [6], Г. Гамов [7], К. Гёдель [8] были, вероятно, первыми, кто предположил существование глобального космологического вращения по аналогии с вращением островных космических систем: галактик и скоплений галактик. Однако свои исследования они проводили на основе общей теории относительности Эйнштейна (ОТО), имеющей многие (неразрешимые) фундаментальные изъяны (сингулярность, непериодичность и т. д.). Калибровочная теория гравитации [1, 4] – ближайшее и наиболее естественное обобщение ОТО, успешно решает многие из этих проблем. Именно в рамках геометрии Римана – Картана удаётся ввести спин (угловой момент) как ещё один равноправный источник (наряду с энергией-импульсом) гравитационного поля [3, 5]. Рассмотрим простейшую космологическую модель с расширением и вращением:

$$ds^2 = dt^2 - 2R\sqrt{m}e^{nx} dydt - R^2(dx^2 + ke^{2nx} dy^2 + dz^2) \quad (1)$$

и покажем, что она хорошо согласуется с современными наблюдательными данными по химическому составу Вселенной. Здесь t, x, y, z – координаты; $R(t)$ – масштабный фактор; $k > 0, m > 0, n$ – константы. Метрика (1) принадлежит к третьему типу по классификации Бьянки. Тензоры вращения, расширения и сдвига имеют вид

$$\omega_{\alpha\beta} = R\sqrt{m}ne^{nx} \delta_{[\alpha}^1 \delta_{\beta]}^2,$$

$$\theta = \theta^\alpha_\alpha = 3\dot{R}/R, \quad (2)$$

$$\sigma_{\alpha\beta} = 0.$$

Было доказано [3, 9, 11], что вращение в этой модели и других моделях типа Бьянки, независимо от своей величины, не влияет на изотропию микроволнового фонового излучения, температура которого описывается формулой $T = T_e R_e / R$, полностью совпадая с космологией Фридмана – Робертсона – Уокера (ФРУ).

Динамические уравнения, описывающие эволюцию масштабного фактора $R(t)$, можно записать в виде (подробности можно найти в [2])

$$\frac{\dot{R}^2}{R^2} = \frac{\alpha_1}{R^2} + \frac{\alpha_2}{R^6} + \alpha_3 + \frac{\alpha_4}{R^4}, \quad (3)$$

где постоянные α_i ($i = 1, 2, 3, 4$) определяются так: $\alpha_1 = n^2(3m + 4k)/6k > 0$,

$\alpha_2 = -2Q_0(m + k)/(3k) < 0$ (Q – единственная ненулевая компонента тензора кручения),

$\alpha_3 = -A(m + k)/(3k)$ (A – постоянная кривизна Римана – Картана), α_4 – постоянная интегрирования.

Плотность энергии и давление описываются уравнениями

$$\varepsilon = -\frac{\Lambda}{k} - \frac{A}{4k} + \frac{3B^2}{2R^4} - \frac{S_0^2}{8AR^6}, \quad (4a)$$

$$\varepsilon = \frac{\Lambda}{k} + \frac{A}{4k} + \frac{1B^2}{2R^4} - \frac{S_0^2}{8AR^6}. \quad (4b)$$

Здесь индекс «0» соответствует начальным ($t = 0$) значениям физических величин; S – плотность спина материи Вселенной; $\Lambda, k, a_1 < 0, B$ – некоторые постоянные.

Нетрудно видеть, что уравнение (3) – «фридмановского» типа; оно легко интегрируется и даёт возраст Вселенной, хорошо согласующийся с аналогичными расчётами по эволюции звёзд и данными ядерной космохронологии. Расчёт остальных стандартных космологических параметров в модели (1)

даёт: $H_t \in [50, 100] \text{ кмс}^{-1} \text{ Мпк}$ (постоянная Хаббла); параметр замедления

$q_t \in [-0, 8; -0, 01]$; $\varepsilon_t \in [10^{-29}; 10^{-31}] \text{ г см}^{-3}$ (плотность материи); $\omega_t \in [10^{-10}; 10^{-13}] \text{ г о д}^{-1}$

(угловая скорость вращения Вселенной).

Теперь рассмотрим первоначальный нуклеосинтез в расширяющейся и вращающейся Вселенной (1–4).

Первый шаг в понимании проблемы – анализ эволюции масштабного фактора (3) и связанного с ним космологического расширения. Введение анизотропии – популярный метод устранения любых несоответствий между сценарием большого взрыва в модели ФРУ и современными наблюдательными данными [11, 12]. В работе [12] было показано (на основе двух моделей типа Бьянки), что доля гелия в таких космологиях будет даже больше по сравнению со стандартной ФРУ моделью. Было также выдвинуто предположение, что это – общая черта, присущая всем Бьянки-вселенным, что делает их непригодными для описания нашей Вселенной.

В нашем подходе это заявление истинно лишь в той части, которая основывается на динамических уравнениях ОТО. В калибровочной теории гравитации появляются дополнительные возможности, которые позволяют получить даже лучшее соответствие с результатами наблюдений, чем в стандартной космологии. Это относится и к данным по современному химическому составу Вселенной с расширением и вращением.

Известны начальные условия синтеза ядер в ранней Вселенной: нет тяжёлых элементов, но есть равное число нейтронов и протонов. Такая ситуация является следствием того факта, что реакция взаимопревращения нейтронов и протонов протекает гораздо быстрее, чем расширяется Вселенная в это время: нейтрон-протонное отношение равно равновесному значению $n_n / n_p = e^{-\Delta m / T}$, где

$\Delta m = m_n - m_p = 1, 03 \text{ МэВ}$ – разность масс нейтрона и протона; T – температура. Протоны и электроны обладают спином, поэтому естественно материю ранней Вселенной описывать как иде-

альную спинурующую жидкость Вейсенхоффа – Раабе. В теории Эйнштейна – Картана связь спина и кручения имеет вид

$$Q(t) = \frac{1}{2} \kappa \mu, \quad (5)$$

где $\kappa = 8\pi Gc^{-4}$ – гравитационная постоянная Эйнштейна, ρ – плотность числа частиц, μ – ненулевая компонента плотности спина.

Когда температура Вселенной падает до значений между 1 и 0,1 МэВ, нейтроны и протоны могут соединиться и образовать лёгкие ядра: D , ${}^3\text{He}$, ${}^4\text{He}$ и ${}^7\text{Li}$. Возникающие соотношения долей этих элементов зависят от скорости расширения. Обсудим кратко космологический сценарий модели (1–4) и найдем параметры, которые могли бы понизить долю гелия.

При $t = 0$ имеем: $\dot{R} = 0, R = R_{\min} = 1, \alpha_2 = -\alpha_1 - \alpha_3 - \alpha_4$. Уравнение состояния – $\varepsilon = \varepsilon_{spin} \approx p$ (жесткая материя).

При $0 < t < t_1 \ll 1$ с: $\varepsilon \approx p \approx R^{-6}, R \sim t^{1/3}$.

После момента $t_1 \ll 1$ с ($T \gg 1$ МэВ) последний член в (4) уменьшается быстрее остальных, и в течение долгого времени Вселенная находится в радиационно доминированной фазе с уравнением состояния $\varepsilon \approx 3p \approx 3B^2 / (2R^4), R \approx \alpha_4^{1/4} \sqrt{t}$. Как видно, в эпоху ядерного синтеза закон расширения аналогичен закону расширения в стандартной ФРУ модели, но здесь постоянная α_4 может принимать значения из довольно широкого интервала вследствие существующей неопределённости в оценке нынешних значений $H_t, q_t, \varepsilon_t, \omega_t$. При $B \sim 10^{117} \text{ e}^{1/2} \text{ см}^{-1/2} \text{ с}^{-1}$ и $\alpha_4 \sim 10^{208} \text{ с}^{-2}$ получим долю гелия ${}^4\text{He}$ приблизительно равную 0,2, что находится в полном соответствии с современными данными. Так решается «проблема гелия» во Вселенной с вращением.

В заключение отметим, что если в рамках ФРУ модели так и не удастся объяснить современную распространённость гелия (0,1–0,22), то пространственно однородные космологии Бьянки с вращением и расширением могут служить достойными кандидатами для описания реальной Вселенной в рамках калибровочного подхода к гравитации.

Библиографический список

1. Иваненко, Д., Пронин, П., Сарданашвили, Г. Калибровочная теория гравитации [Текст] / Д. Иваненко, П. Пронин, Г. Сарданашвили. – М. : МГУ, 1985. Короткий, В. А., Обухов, Ю. Н. Кинематический анализ космологических моделей с вращением [Текст] / В. А. Короткий, Ю. Н. Обухов // ЖЭТФ. – 1991. – Вып. 99. – №1. – С. 22–31.
2. Иваненко, Д. Д., Короткий, В. А., Обухов, Ю. Н. Космологический сценарий вращающейся Вселенной [Текст] / Д. Д. Иваненко, В. А. Короткий, Ю. Н. Обухов // Астрономический циркуляр Академии Наук СССР. – №1473. – 1986. – С. 1–3.
3. Короткий, В. А., Обухов, Ю. Н. Кинематический анализ космологических моделей с вращением [Текст] / В. А. Короткий, Ю. Н. Обухов // ЖЭТФ. – 1991. – Вып. 99. – №1. – С. 22–31.
4. Пономарёв, В. Н., Барвинский, А. О., Обухов, Ю. Н. Геометродинамика и калибровочный подход к теории гравитации [Текст] / В. Н. Пономарёв, А. О. Барвинский, Ю. Н. Обухов. – М. : Энергоатомиздат, 1985.
5. Obukhov, Yu. N. On Physical Foundations and Observational Effects of Cosmic Rotation. // Colloquium on Cosmic Rotation: ed. by M. Scherfner, co-ed. by T. Crobok. – 2000. – Aufl. – Berlin: Wissenschaft und Technik Verl. – 96p.
6. Whittaker, E. T. Spin in the Universe. // Yearbook of Roy. Soc. – Edinburg, 1945. – P. 5–13.
7. Gamow, G. Rotating Universe? // Nature. – 1946. – V. 158. – No 4016. – P. 549.
8. Godel, K. An example of a new type of cosmological solutions of Einstein's field equations of gravitation. // Rev. Mod. Phys. – 1949. – V. 21. – P. 447–450.
9. Korotky V. A., Obukhov Yu. N. Weyssenhoff Fluid in Einstein-Cartan Theory // Preprint IFT-22-87, Warsaw Inst. Theor. Phys., 1987, 48 p.

10. Korotky V.A, Obukhov Yu.N. Bianchi-II Rotating World //Asph.Sp.Sci.– 1999.– V.260.– P. 425–439.
11. Thorn K. Primordial Element Formation, Primordial Magnetic Fields, and the Isotropy of the Universe. *Astrophys J.*,148, 1967, p.51-68.
12. Matzner R., Rothman T, Ellis G.F. R. Conjecture On Isotop Production in the Bianchi Cosmologies. *Phys.Rev.D34*, 1986, p.2926–2933.
13. Obukhov Yu.N., Korotky V.A. The Weyssenhoff Fluid in Einstein-Cartan Theory *Class.Quant. Grav.*,4,1987,p.1633–1657.