УДК 530.12:531.551

Этап ранней инфляции эволюции Вселенной

Е. В. Кувшинова, О. В. Сандакова
Пермский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15
kuvlenka@narod.ru; o_sandakova@list.ru; 8(342) 239-65-60

В рамках общей теории относительности построена анизотропная космологическая модель с расширением и вращением с метрикой типа IX по Бьянки. Рассматривается первая стадия инфляции Вселенной, заполненной скалярным полем и анизотропной жидкостью. В подходе, реализованном в данной модели, анизотропная жидкость описывает вращающуюся темную энергию.

Ключевые слова: *темная энергия; первая инфляция; уравнения Эйнштейна.*

DOI: 10.17072/1993-0550-2019-4-30-33

Введение

По утверждению большинства ученых наша Вселенная – однородна и изотропна [1]. Однако известны астрономические наблюдения, которые могут свидетельствовать в пользу крупномасштабных отклонений от изотропии в наблюдаемой Вселенной.

Первый тип наблюдений касается исследования векторов поляризации электромагнитного излучения, пришедшего от далеких квазаров [2]. Оказалось, что вектора поляризации ориентированы не случайным образом, а имеют преимущественное направление [2]. Причем это направление явно проявляется для тех векторов, которые соответствуют достаточно удаленным квазарам.

Второй тип наблюдений связан с так называемыми спиральными галактиками. Согласно последнему анализу [3], в одной части небесной сферы преобладают влево закрученные галактики, в другой части – вправо закрученные. На основе этой асимметрии была найдена выделенная ось в пространстве. Укажем здесь, что есть особый тип анизотропии в 4-х пространстве – это анизотропия, обусловленная космологическим вращением. Поэтому в современной космологии сохраняют актуальность исследования возможного вращения Вселенной. Укажем некоторые из работ, посвященных космологическому вращению [4, 5, 6, 7].

В данных работах рассматриваются следующие космологические метрики: обобщение метрики Геделя, метрики типов II,VIII по Бьянки, и используются различные источники тяготения. При теоретическом моделировании космологического вращения целесообразно использовать метрики различных типов по Бьянки, которые не противоречат наблюдательным данным.

Отметим, что в современной космологии весьма актуально исследование темной энергии и темной материи [8, 9]. Предсказаны и открыты [10] локальные области космического пространства, в которых эйнштейновское антитяготение, создаваемое темной энергией, сильнее ньютоновского тяготения, создаваемого темной материей и барионами.

В работе [11] в рамках общей теории относительности была построена анизотропная космологическая модель с расширением и вращением с метрикой типа VIII по Бьянки. Рассматривается первая стадия инфляции Вселенной, заполненной скалярным полем и анизотропной жидкостью. Модель описывает фридмановский этап космологической эволюции с последующим переходом к ускоренному экспоненциальному расширению, наблюдаемому в современную эпоху.

В подходе, реализованном в модели, анизотропная жидкость описывает вращающуюся темную энергию.

В работе [12] построена космологическая модель с расширением и вращением с метрикой типа II по Бьянки. Модель описывает фридмановский этап эволюции Вселенной с последующим переходом к ускоренному экспоненциальному расширению, наблюдаемому в современную эпоху.

В данной работе в рамках общей теории относительности найдено решение с вращением на основе метрики типа IX по Бьянки вида

$$\begin{aligned} ds^2 &= (dt + A\omega^1)^2 - (B\omega^1)^2 - \\ &-C^2((\omega^2)^2 + (\omega^3)^2), \end{aligned} \tag{1}$$

где A, B, C – функции, зависящие от времени, $\omega^1,\ \omega^2,\ \omega^3$ есть 1-формы, удовлетворяющие структурным отношениям типа IX по Бьянки.

Представим нашу метрику в тетрадной форме. Используется лоренцевая тетрада с ненулевыми компонентами:

$$\begin{gathered} e_0^{(0)} = 1,\ e_1^{(0)} = -A\sin x^3,\ e_2^{(0)} = A\sin x^1 \cos x^3, \\ e_1^{(1)} = -B\sin x^3,\ e_2^{(1)} = B\sin x^1 \cos x^3, \\ e_1^{(2)} = C\cos x^3,\ e_2^{(2)} = C\sin x^1 \sin x^3, \\ e_2^{(3)} = C\cos x^1,\ e_3^{(3)} = C. \end{gathered} \tag{2}$$

Применяя метод, предложенный в [13], найдем условия, которые обеспечивают причинность пространства-времени с метрикой (1). Пусть $x^\mu(s)$ – произвольная времениподобная кривая (s – параметр), $v^\mu v_\mu > 0$.

Если предположить, что эта кривая – замкнутая, тогда всегда существует такое $s = s_0$, при котором производная $\left.\dfrac{dt}{ds}\right|_{S=S_0} = 0$.

Вычислим в точке $s = s_0$ квадрат модуля $V^\mu = \dfrac{dx^\mu}{ds}$, касательного к $x^\mu(s)$

$$V^\mu V_\mu\Big|_{S=S_0} = (A^2 - B^2)\left(\frac{\omega^1}{ds}\right)^2 - C^2\left(\frac{\omega^2}{ds}\right)^2 - C^2\left(\frac{\omega^3}{ds}\right)^2.$$

При $B^2 \ge A^2$ в точке $s = s_0$ имеем: $V^\mu V_\mu\Big|_{S=S_0} \le 0$. Но мы предположили, что $x^\mu(s)$ – времениподобная кривая ($V^\mu V_\mu\Big|_{S=S_0} > 0$) при любых s.

Таким образом, мы получили противоречие с исходным предположением о замкнутости $x^\mu(s)$. Значит, условие, накладываемое на наше решение $B^2 \ge A^2$, обеспечивает отсутствие замкнутых времениподобных кривых во всем пространстве – времени с метрикой (1). Источниками гравитации являются скалярное поле и сопутствующая анизотропная жидкость.

Рассмотрен случай

$A = kC,\ B = \alpha C$ ($k,\ \alpha$ = const).

Построенная космологическая модель отлична от ранее найденных космологических решений для метрики (1). Рассматривается значение найденного космологического решения для астрофизических наблюдений.

Нестационарная космологическая модель с вращением

Итак, будем искать для метрики (1) космологическое решение уравнений тяготения Эйнштейна, записанных в тетрадной форме

$$R_{ik} - \frac{1}{2}\eta_{ik} R = \aleph T_{ik}. \tag{3}$$

У нас используется лоренцевая тетрада и выбрано $\aleph = 1, c = 1$.

Тензор энергии – импульса скалярного поля в координатной форме имеет следующий вид:

$$T_{ij} = \varphi_{,i}\varphi_{,j} - \left\{\frac{1}{2}\varphi_{,k}\varphi_{,l} g^{kl} - U(\varphi)\right\} g_{ij}. \tag{4}$$

Уравнение скалярного поля:

$$\frac{1}{\sqrt{-g}}\partial_i\left(\sqrt{-g}\, g^{ik}\varphi_{,k}\right) + \frac{dU}{d\varphi} = 0. \tag{5}$$

Тензор энергии-импульса сопутствующей анизотропной жидкости в тетрадном представлении имеет вид

$$T_{ab} = (\pi + \rho) u_a u_b + (\sigma - \pi)\chi_a \chi_b - \pi\eta_{ab}, \tag{6}$$

где $u_a u^a = 1,\ \chi_a \chi^a = -1,\ \chi^a u_a = 0,\ \rho > 0$

$\pi,\ \sigma$ – компоненты давления анизотропной жидкости, ρ – плотность энергии анизотропной жидкости, $\chi_a = \{0,1,0,0\}$ – проекция на тетраду вектора анизотропии, $u_a = \delta_0^a$ – вектор 4 – скорости сопутствующей анизотропной жидкости в проекции на тетраду.

Система уравнений (2) с учетом (3), (4), (5), имеет вид

$$\frac{-(8C\ddot{C}k^2+4\dot{C}^2k^2-12\dot{C}^2\alpha^2-3k^2\alpha^2+\alpha^4-4\alpha^2)}{4C^2\alpha^2}=$$
$$=\rho+\frac{\alpha^2+k^2}{2\alpha^2}\dot{\varphi}^2+\mathrm{U},$$
$$\frac{k(4C\ddot{C}-4\dot{C}^2-\alpha^2)}{2C^2\alpha}=-\frac{k}{\alpha}\dot{\varphi}^2,$$
$$\frac{-(8C\ddot{C}\alpha^2-12\dot{C}^2k^2+4\dot{C}^2\alpha^2+k^2\alpha^2-3\alpha^4+4\alpha^2)}{4C^2\alpha^2}=$$
$$=\sigma+\frac{\alpha^2+k^2}{2\alpha^2}\dot{\varphi}^2-\mathrm{U},$$
$$\frac{8C\ddot{C}k^2-8C\ddot{C}\alpha^2+4\dot{C}^2k^2-4\dot{C}^2\alpha^2+k^2\alpha^2-\alpha^4}{4C^2\alpha^2}=$$
$$=\pi+\frac{\alpha^2-k^2}{2\alpha^2}\dot{\varphi}^2-\mathrm{U}. \qquad (7)$$

Уравнение скалярного поля (5) для нашей метрики примет вид

$$\ddot{\varphi}+\frac{3\dot{C}}{C}\dot{\varphi}+\frac{\alpha^2}{\alpha^2-k^2}\frac{dU}{d\varphi}=0. \qquad (8)$$

Будем описывать нашим решением первую стадию инфляции Вселенной. Анизотропная жидкость у нас описывает темную энергию. Поэтому мы задаем $\varphi(t)=\varphi_0 e^{-Ht}$ ($\varphi_0=const$), а масштабный фактор для первой инфляции возьмем в виде $\mathrm{C}(t)=c_0e^{Ht}$ ($H=const$). Тогда, решая уравнение (8), мы получим потенциал скалярного поля в виде

$$U=\frac{H^2\left(\alpha^2-k^2\right)}{\alpha^2}\varphi^2+c_1, \qquad (9)$$

где $c_1=const$.

Рассмотрим второе уравнение системы (7). При нашем выборе

$$\mathrm{C}(t)=c_0e^{Ht} \quad \text{и} \quad \varphi(t)=\varphi_0e^{-Ht} \qquad (10)$$

получаем, что

$$C\ddot{C}-\dot{C}^2=0, \text{ а } \dot{\varphi}(t)=-H\varphi_0e^{-Ht}=-H\varphi.$$

Тогда второе уравнение системы (7) дает

$$\varphi=\frac{\alpha}{\sqrt{2}HC}. \qquad (11)$$

Решая (9) и (10), получаем

$$\varphi_0=\frac{\alpha}{\sqrt{2}HC_0}. \qquad (12)$$

Тогда потенциал скалярного поля (9) с учетом (11) примет вид

$$U=\frac{\left(\alpha^2-k^2\right)}{2C^2}+c_1. \qquad (13)$$

Рассмотрим четвертое уравнение системы (7). Подставляя в него (13) и $\dot{\varphi}^2$ из второго уравнения системы (7) получаем уравнение для давления анизотропной жидкости:

$$\pi=\frac{3\dot{C}^2\left(k^2-\alpha^2\right)}{C^2\alpha^2}+c_1. \qquad (14)$$

Учитывая, что $\mathrm{C}(t)=c_0e^{Ht}$ окончательно получаем

$$\pi=\frac{3H^2\left(k^2-\alpha^2\right)}{\alpha^2}+c_1. \qquad (15)$$

Рассмотрим третье уравнение системы (7). Подставляя в него (13) и $\dot{\varphi}^2$ из второго уравнения системы (6) получаем уравнение для давления анизотропной жидкости:

$$\sigma=\frac{3\dot{C}^2\left(k^2-\alpha^2\right)-\alpha^2\left(k^2-\alpha^2+1\right)}{C^2\alpha^2}+c_1. \quad (16)$$

Учитывая, что $\mathrm{C}(t)=c_0e^{Ht}$ окончательно получаем

$$\sigma=\frac{3H^2\left(k^2-\alpha^2\right)}{\alpha^2}-\frac{\left(k^2-\alpha^2+1\right)}{C^2}+c_1. \quad (17)$$

Рассмотрим первое уравнение системы (7). Подставляя в него (13) и $\dot{\varphi}^2$ из второго уравнения системы (7) получаем уравнение для плотности энергии анизотропной жидкости:

$$\rho=\frac{-3\dot{C}^2\left(k^2-\alpha^2\right)+\alpha^2\left(k^2-\alpha^2+1\right)}{C^2\alpha^2}-c_1. \quad (18)$$

Учитывая, что $\mathrm{C}(t)=c_0e^{Ht}$ окончательно получаем

$$\rho=\frac{-3H^2\left(k^2-\alpha^2\right)}{\alpha^2}+\frac{\left(k^2-\alpha^2+1\right)}{C^2}-c_1. \quad (19)$$

Для нашего решения $\sigma+\rho=0$ ($\sigma=-\rho$), но $\sigma-\pi=\dfrac{\alpha^2-k^2-1}{C^2}.$

Итак, можно сделать вывод, что рассматриваемая нами жидкость не является вакуумоподобной.

Заключение

В работе [12] для космологической модели с вращением мы рассматривали, что первая стадия инфляции начинается в планковское время. Однако в духе работы [14] можно обосновано считать, что первая инфляция начинается в период Великого объединения.

Поэтому будем полагать, что первая инфляция начинается при $t_1=10^{-37}$с, а заканчивается при $t_2=10^{-34}$с.

Масштабный фактор $C(t)$ при этом равен 10^{-27}см в момент $t_1=10^{-37}$с.

Мы считаем феноменологически, что после окончания первой инфляции энергия скалярного поля переходит в энергию рожденных частиц. Кинематические параметры анизотропной жидкости (темной энергии) в нашей модели имеют вид: расширение $\Theta=\frac{3\dot{C}}{C}$, вращение $\omega=\frac{\kappa}{2C}$, ускорение $a=\frac{\kappa\dot{C}}{\alpha C}$. Сдвиг отсутствует.

Список литературы

1. *Ерошенко Ю. Н.* Новости физики в сети Internet (по материалам электронных препринтов) // Успехи физических наук. 2013. Т. 183, № 5. 496 с.
2. *Payez A., Cudell J.R., Hutsemekers D.* New constraints on very light pseudoscalars. arXiv: 1204.6614.
3. *Michael J. Longo.* Detection of a dipole in the handedness of spiral galaxies with redshifts z 0.04. arXiv: 1104.2815.
4. *Кречет В.Г.* Современные космологические данные и вращение Вселенной // Известия вузов. Физика. 2005. № 3. 3 с.
5. *Бобровских Е.И., Панов В.Ф.* Нестационарные космологические модели с вращением типа II по Бьянки // Известия вузов. Физика. 2012. № 4. 113 с.
6. *Kuvshinova E.V., Pavelkin V.N., Panov V.F., Sandakova O.V.* Bianchi Type VIII Cosmological Models with Rotating Dark Energy // Gravitation and Cosmology, 2014. Vol. 20, №2. P. 141–143.
7. *Kuvshinova E.V., Panov V.F., Sandakova O.V.* Rotating Nonstationary Cosmological Models and Astrophysical Observation // Gravitation and Cosmology. 2014. Vol. 20, № 2. P. 138–140.
8. *Черепащук А.М.* История истории Вселенной // Успехи физических наук. 2013. Т. 183, № 5. 535 с.
9. *Долгов А.Д.* Космология: от Померанчука до наших дней // Успехи физических наук. 2014. Т. 184, № 2. 211 с.
10. *Чернин А.Д.* Темная энергия в ближней Вселенной: данные телескопа "Хаббл", нелинейная теория, численные эксперименты // Успехи физических наук. 2013. Т. 183, № 7. 741 с.
11. *Panov V.F., Sandakova O.V., Yanishevsky D.M., Cheremnykh M.R.* Model of Evolution of the Universe with the Bianchi Type VIII Metric // Russian Physics Journal. 2019. Vol. 61, № 9. P. 1629–1637.
12. *Panov V.F., Kuvshinova E.V., Yanishevsky D.M., Sandakova O.V.* Bianchi type II cosmological model of the Universe’s evolution // International Journal of Geometric Methods in Modern Physics. 2018. Vol. 15, № 1. 1850016 (9 p.).
13. *Maitra S.C.* Stationary dust – filled cosmological solution with Λ=0 and without closed timelike lines // Journal of Mathematics and Physics. 1966. Vol. 7, № 6. P. 1025–1030.
14. *Фильченков М.Л., Лаптев Ю.П.* Квантовая гравитация: От микромира к мегамиру. М.: ЛЕНАНД, 2016. 304 с.

The early inflation phase in the evolution of the Universe

E. V. Kuvshinova, O. V. Sandakova
Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia
kuvlenka@narod.ru ; o_sandakova@list.ru; 8 (342) 239-65-60

An anisotropic cosmological model with expansion and rotation with the Bianchi type IX metric has been constructed within the framework of the general relativity theory. The paper considers the first phase of the inflation of the Universe filled with a scalar field and an anisotropic liquid. In the approach implemented in this model, anisotropic fluid describes rotating dark energy.

Keywords: *dark energy; first inflation; Einstein equations.*