

УДК 530.12; 530.51

А. М. Баранов¹**ЭВОЛЮЦИЯ ОТКРЫТОЙ КОСМОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ С ИЗЛУЧЕНИЕМ**

Исследуется эволюция открытой космологической модели с излучением, полученной ранее методом эквивалентных потенциалов. Показано, что эволюция и возраст Вселенной определяются отношением параметров, входящих в модель и ответственных за наличие вещества и излучения. Результаты проиллюстрированы соответствующими графиками. Приведены оценки плотности массивной материи и возраста Вселенной с точки зрения проведенного в работе анализа.

Ключевые слова: открытые космологические модели, функция состояния, эволюция Вселенной.

PACS: 04.20.-q; 04.20.Cv

Введение

В работе [1] с помощью подхода, позволяющего сводить космологические уравнения Эйнштейна (с тензором энергии-импульса идеальной жидкости и без космологического члена) к виду второго закона Ньютона в евклидовом пространстве, была получена открытая конформно-плоская космологическая модель, описывающая эволюцию как вещества (с давлением), так и равновесного излучения. Эта модель соответствует эквивалентному «уравнению движения» для свободного осциллятора. Решение этого уравнения, возведенное в четвертую степень, есть решение гравитационных уравнений для конформно-плоской метрики в форме Фока [2], отвечающей открытой Вселенной.

Особенностью полученной модели является то, что асимптотически (при больших временах) давление определяется давлением равновесного излучения. Другими словами, при больших временах материя «расщепляется» на излучение (фоновое или реликтовое) и некогерентную пыль (вещество с нулевым давлением). Переходя еще к большим временам, получим решение Фридмана для открытой Вселенной [3].

В полученное в [1] решение входят два параметра: A и B в виде дроби A/B . Один из параметров, A , ответственен за присутствие вещества, а другой, B – за излучение.

Кроме того, функция состояния ($\beta = p/\epsilon$ с давлением p и плотностью энергии ϵ), обобщающая на эволюцию по времени понятие уравнения состояния, на всем интервале изменения времени (от начала до бесконечности) имеет характерный график с пиком вблизи начала возникновения Вселенной. В отсутствие вещества ($A = 0$) этот пик достигает величины $1/3$, отвечающей ультрарелятивистскому состоянию (равновесное излучение).

Дальнейшее изложение будет касаться исследования поведения функции состояния, отражающего эволюцию Вселенной, и отношения A/B на всем интервале изменения параметра, связанного с физическим временем.

По поводу отношения параметров A/B можно сказать, что с одной стороны, это отношение должно быть очень маленьким, чтобы обеспечить ультрарелятивистскую фазу эволюции Вселенной (после инфляции), а с другой – на асимптотике по времени плотность реликтового излучения должна быть значительно меньше плотности вещества.

1. Математическое описание модели

Как и в работе [1], в основу исследования кладется конформно-галилеева метрика, записанная аналогично [2]

$$ds^2 = \exp(2\sigma)\delta_{\mu\nu}dx^\mu dx^\nu, \quad (1.1)$$

с конформным множителем $\exp(2\sigma)$, зависящим от переменной S , квадрат которой представляет собой произведение запаздывающего и опережающего времен в трехмерном мире:

¹E-mail: alex_m_bar@mail.ru; Baranov@stfi.ru

$S^2 = \delta_{\mu\nu} x^\mu x^\nu = t^2 - r^2 = (t - r)(t + r) = uv$; а $\sigma = \sigma(S)$ и $\delta_{\mu\nu} = \text{diag}(1; -1; -1; -1)$ – метрический тензор Минковского; $\mu, \nu = 0, 1, 2, 3$; скорость света и гравитационная постоянная Ньютона равны единице, поэтому эйнштейновская гравитационная постоянная здесь равна $\kappa = 8\pi$.

Уравнения Эйнштейна без космологического члена и с источником в виде тензора энергии-импульса (ТЭИ) в приближении идеальной жидкости

$$T_{\mu\nu} = \varepsilon u_\mu u_\nu + p b_{\mu\nu}, \quad (1.2)$$

запишутся как

$$G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = -\kappa T_{\mu\nu}, \quad (1.3)$$

где ε – плотность энергии; p – давление; 4-скорость $u_\mu = \exp(\sigma) b_\mu$ пропорциональна градиенту переменной S как функции координат x^μ : $b_\mu = S_{,\mu}$; $u_\mu u^\mu = 1$ – условие нормировки 4-скорости; $b_{\mu\nu} = u_\mu u_\nu - g_{\mu\nu}$ есть 3-проектор на 3-пространство, который играет роль метрического тензора для 3-пространства, при этом выполняется условие ортогональности 3-пространства и временноподобной конгруэнции u^μ : $b_{\mu\nu} u^\mu = 0$.

Далее произведем (1+3)-расщепление уравнений гравитационного поля с помощью монадного подхода ([4]– [6]), что позволит записать конкретные уравнения для давления и плотности энергии, спроецированные на временноподобную мировую линию и пространственноподобную поверхность, ортогональную временноподобному направлению.

Вектор 4-скорости u_μ будет использован в качестве монады, которая ортогональна 3-площадке с метрическим тензором $b_{\mu\nu} = u_\mu u_\nu - g_{\mu\nu}$ в пространстве-времени. После такой операции можно записать систему из двух дифференциальных уравнений: одно определяет плотность энергии, а другое – давление.

В результате (1+3)-расщепления система уравнений (1.3) сводится к системе двух дифференциальных уравнений в полных производных после перехода к новой функции $y(S)$ как $\sigma(S) = 2 \cdot \ln(y(S))$:

$$12 \cdot y' \left(y' + \frac{1}{S} \cdot y \right) = \kappa \varepsilon \cdot y^6; \quad (1.4)$$

$$4 \cdot \left(y'' + \frac{2}{S} y' \right) = -\kappa p \cdot y^5, \quad (1.5)$$

где штрих обозначает производную d/dS .

При построении большинства космологических моделей используется уравнение состояния, то есть связь между плотностью энергии и давлением, которая является величиной постоянной. Однако, такой подход, на наш взгляд, является препятствием к построению действительно эволюционных моделей, когда вещество (а соответственно, и уравнение состояния) меняется по мере развития таковых. Поэтому введем здесь явным образом (как это сделано в [1]) функцию состояния

$$\beta(S) = \frac{p(S)}{\varepsilon(S)}. \quad (1.6)$$

Уравнение (1.5) при переходе к новой переменной $\chi = 1/S$ преобразуется к виду

$$\frac{d^2 y}{d\chi^2} = F(\chi, y, p), \quad (1.7)$$

где

$$F(\chi, y, p) = -\kappa \frac{y^5}{4\chi^4} \cdot p. \quad (1.8)$$

Если рассматривать χ как новую «временную» переменную, а функцию y как своеобразную «обобщенную координату», то можно интерпретировать (1.7) как уравнение Ньютона для одномерного движения частицы единичной массы под действием «силы» F из (1.8).

Такой подход позволяет исследовать класс космологических решений, для которых «сила» F является потенциальной: $F = -dU/dz$ с потенциалом U . В частности, в [1] взят квадратичный потенциал, соответствующий колебательному движению,

$$U = B^2 y^2 / 2, \quad (1.9)$$

где B – постоянная, имеющая в механической интерпретации смысл коэффициента жесткости пружины.

Из уравнения (1.7), которое принимает вид уравнения «колебаний», сразу получаем точное решение, приведенное как в [1], так и найденное в ([7], [8]) более сложным путем решения уравнения Риккати:

$$y = \sqrt{(1 + A^2/B^2)} \cos(B\chi + \alpha) = \frac{\cos(B\chi + \alpha)}{\cos \alpha}, \quad (1.10)$$

где $\operatorname{tg}^2 \alpha = A^2/B^2 = 1/\cos^2 \alpha + 1$, $A = \text{const}$, $B = \text{const}$.

Соответствующий конформный множитель примет вид

$$\exp(2\sigma) = (1 + A^2/B^2)^2 \cos^4(B\chi + \alpha) = (1 + A^2/B^2)^2 \cos^4 \varphi(\chi) = \left(\frac{\cos \varphi(\chi)}{\cos \alpha} \right)^4, \quad (1.11)$$

где $\varphi \equiv B/S + \alpha = B\chi + \alpha$.

Детальное исследование асимптотического поведения давления и плотности энергии для приведенного космологического решения показывают (см. [1]), что параметр A связан с массовой материей (веществом), а параметр B – с равновесным излучением. При этом с точностью $O(\chi^5)$, имеем

$$\kappa p \approx 4B^2 \chi^4; \quad (1.12)$$

$$\kappa \varepsilon \approx 12A\chi^3(1 + 6A\chi) + 12B^2 \chi^4 = \kappa \varepsilon_{\text{dust}} + \kappa \varepsilon_{\text{rad}}, \quad (1.13)$$

где $\kappa \varepsilon_{\text{rad}} = 3\kappa p$ – плотность энергии ультрарелятивистского состояния материи, а $\kappa \varepsilon_{\text{dust}}$ – плотность энергии некогерентной пыли; A – параметр, входящий во Фридмановское решение для открытой модели Вселенной

$$\exp(2\sigma) = y^4 = \left(1 - \frac{A}{S}\right)^4 = (1 - A\chi)^4, \quad (1.14)$$

совпадающего с полученным в [2].

Кроме того, так как постоянная B отвечает за наличие излучения в модели, то устремляя ее к нулю в решении (1.10), получаем в пределе решение Фридмана [1] как и при рассмотрении асимптотики решения (1.10).

2. Функция состояния модели

Опираясь на результаты работы [1] запишем выражения для давления и плотности энергии в новых обозначениях, перейдя от $\chi = 1/S$ к новой переменной $z = B/S$:

$$\kappa p = \frac{4z^4}{B^2} \frac{1}{(1 + A^2/B^2)^2 \cos^4 \varphi(z)} = \frac{4z^4}{B^2} \left(\frac{\cos \alpha}{\cos \varphi(z)} \right)^4; \quad (2.1)$$

$$\kappa \varepsilon = \frac{12z^3}{B^2} \frac{\operatorname{tg} \varphi(z) (1 + z \operatorname{tg} \varphi(z))}{(1 + A^2/B^2)^2 \cos^4 \varphi(z)} = \frac{12z^3}{B^2} \operatorname{tg} \varphi(z) (1 + z \operatorname{tg} \varphi(z)) \left(\frac{\cos \alpha}{\cos \varphi(z)} \right)^4, \quad (2.2)$$

где $\varphi(z) = z + \alpha$.

Следовательно, функция состояния принимает вид:

$$\beta = \frac{p}{\varepsilon} = \frac{1}{3} \frac{z \operatorname{ctg} \varphi(z)}{(1 + z \operatorname{tg} \varphi(z))}. \quad (2.3)$$

Приравнивая функцию состояния нулю, $\beta(z) = 0$, получаем два корня:

$$z_1 = \frac{\pi}{2} - \alpha, \quad z_2 = 0. \quad (2.4)$$

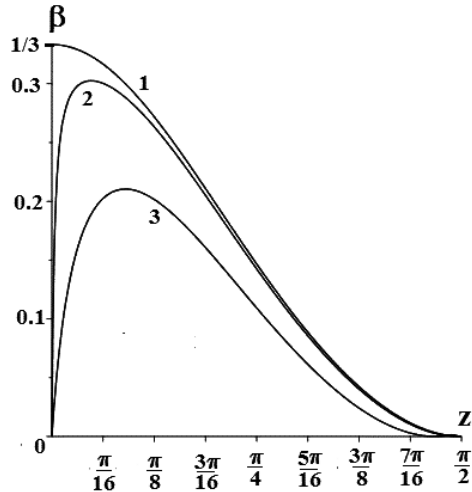


Рис. 1. Поведение функции состояния $\beta(z)$ открытой космологической модели в случае присутствия только излучения (1) и в присутствии излучения и массовой материи (2, 3).

Первый корень z_1 отвечает наиболее близкой к началу Вселенной точке, и в отсутствии массовой материи ($A = 0$ или $\text{tg}(\alpha) = 0$) он равен $z_{01} = \frac{\pi}{2}$. Второй корень ($z_2 = 0$ или $S = \infty$) соответствует фридмановской асимптотике, когда присутствует некогнентная пыль, а излучение отсутствует.

На графике рисунка 1 кривая (1) описывает поведение функции состояния в отсутствии массовой материи ($A = 0$). Максимальное значение равно $1/3$, что означает выход Вселенной на ультрарелятивистскую стадию состояния материя. В этом состоянии Вселенная после разогрева до ультрарелятивистского состояния пребывает все дальнейшее время.

Однако, как только появляется хотя бы ничтожное количество массовой материи, то сразу видим, что Вселенная не может достичь ультрарелятивистской стадии. В лучшем случае, разогрев Вселенной приведет к состоянию близком к ультрарелятивистской стадии. Это демонстрируют кривые (2), для которой $\text{tg}(\alpha_1) = 0.01$, и (3) с $\text{tg}(\alpha_2) = 0.1$. Увеличение доли массовой материи означает еще, что температура с самого начала будет не очень высокой и Вселенная быстрее остынет.

Поэтому, чтобы эволюционирующая Вселенная остывала как можно медленней, необходимо, чтобы начальный разогрев выводил Вселенную как можно ближе к ультрарелятивистской стадии.

3. Функция состояния и эволюция открытой космологической модели

Произведем инверсию переменной z , определив для дальнейшего переменную $x = 1/z = S/B$. Эта операция позволяет нам «переместить» точку $z_2 = 0$ на бесконечность ($S = \infty$). Тогда функция состояния переписывается в виде

$$\beta(x) = \frac{1}{3} \frac{\text{ctg} \varphi(x)}{(x + \text{tg} \varphi(x))} = \frac{1}{3} \frac{\text{ctg} \left(\frac{1}{x} + \alpha \right)}{\left(x + \text{tg} \left(\frac{1}{x} + \alpha \right) \right)}. \quad (3.1)$$

В этом случае корень уравнения $\beta(x) = 0$ есть

$$x_0 = \frac{2}{\pi - 2\alpha}. \quad (3.2)$$

При отсутствии массовой материи ($A = 0$) этот корень равен $x_0 = 2/\pi$.

Для проведения дальнейших исследований приведем два графика поведения функции состояния рассматриваемого решения: без массовой материи ($A = 0$), то есть $\text{tg}(\alpha) = 0$ и при наличии

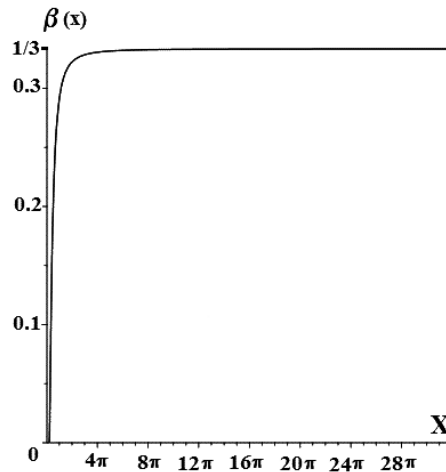


Рис. 2. Поведение функции состояния $\beta(x)$ открытой космологической модели в отсутствие массовой материи, когда $A = 0$, что эквивалентно $\alpha = 0$.

массовой материи.

Из графика на рисунке 2 следует, что резкий разогрев Вселенной на начальной стадии до ультра релятивистского состояния материи (это обсуждалось выше и в [9]), отмеченный на графике значением $\beta = 1/3$, в отсутствие массовой материи не спадает с течением времени, то есть нет асимптотики, присущей наличию вещества. Таким образом, Вселенная оказывается заполненной только равновесным излучением и может находиться в этом состоянии бесконечно долго.

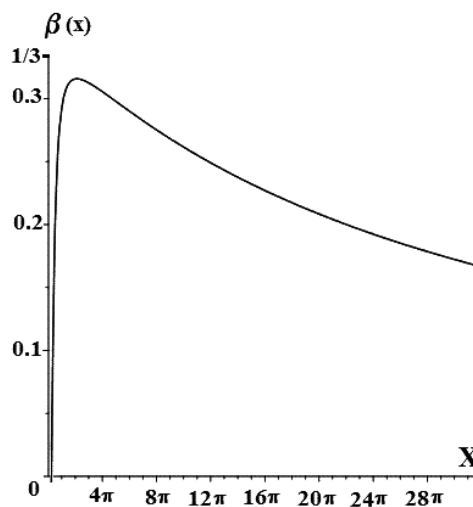


Рис. 3. Поведение функции состояния $\beta(x)$ открытой космологической модели в присутствии массовой материи.

На графике рисунка 3 приведено поведение функции состояния при некотором значении $A/B = \text{tg}(\alpha) \neq 0$. Видно, что максимальное значение β не достигает ультра релятивистской стадии $\beta = 1/3$, а оказывается меньше. После пика кривой идет резкое спадание, то есть, чем больше отношение $A/B = \text{tg}(\alpha)$, тем быстрее идет остывание.

Уже эти два графика (Рис. 2–3) указывают существование зависимости между отношением параметров A/B и максимальным возможным значением функции состояния, что позволяет судить о степени разогрева Вселенной на начальной стадии.

Для нахождения такой зависимости необходимо сначала найти функцию $x = x(\beta)$ из соотношения (3.1). Так как каждому значению x отвечает некоторое значение $\beta(x)$, то и обозначим это значение в каждой точке как $\beta = a$ из (3.1).

Пусть

$$Y = \operatorname{tg}\left(\frac{1}{x} + \alpha\right), \quad (3.3)$$

тогда

$$\beta = \frac{1}{3} \frac{1}{Y(x+Y)} = a. \quad (3.4)$$

Отсюда получаем

$$Y = -\frac{1}{2}x + \frac{1}{6a} \sqrt{9a^2 x^2 + 12a}. \quad (3.5)$$

Согласно приведенным выше графикам, функция β не имеет минимумов на промежутке $(2/\pi \leq x < \infty)$, а имеется только максимум. Поэтому, чтобы получить однозначную зависимость $A/B = \operatorname{tg}(\alpha)$ от максимального значения $\beta = b$, приравняем первую производную от функции состояния нулю и получим уравнение

$$2Y^3 + zY^2 + (2 - z^2)Y + z = 0, \quad (3.6)$$

где теперь точку x , соответствующему максимальному значению функции состояния, обозначим через z , то есть $x_{max} = z$, а значение $\beta = a$ заменим на b .

Подставим Y из (3.5) в (3.6), заменив a на b , приходим к уравнению

$$(3b+1)\sqrt{3(3b^2z^2+4b)} - 6bz = 0. \quad (3.7)$$

Решая, находим для положительных значений z :

$$z = \frac{2}{3} \frac{1+3b}{\sqrt{(1-3b^2-2b)b}} \quad (3.8)$$

при условии $3b^2 + 2b - 1 < 0$, то есть $b < 1/3$.

Найдем $\operatorname{tg}\alpha$ из (3.5) при $x = z, a = b$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{c(z) - 6b \operatorname{tg}\left(\frac{1}{z}\right)}{c(z) \operatorname{tg}\left(\frac{1}{z}\right) + 6b}, \quad (3.9)$$

где

$$c(z) = \sqrt{3(3b^2z^2+4b)} - 3bz. \quad (3.10)$$

Далее подставим z из (3.8) в (3.9) и получим искомую зависимость $\operatorname{tg}(\alpha) = A/B$ от максимального значения $\beta_{max} = b$ функции состояния

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{3w(b) \operatorname{tg}(v(b)) + (3b-1)}{(3b-1) \operatorname{tg}(v(b)) - w(b)}, \quad (3.11)$$

где

$$w(b) = 3\sqrt{(1-2b-3b^2)b}; \quad v(b) = \frac{w(b)}{2(3b+1)}. \quad (3.12)$$

Соответствующий график приведен на рисунке 4, где видно, что ультрарелятивистскую стадию Вселенная может достигнуть, строго говоря, при $A/B = 0$.

На рисунке 5 приведены графики поведения функции состояния $\beta(x)$ для различных значений максимума b этой функции, связанного функционально с отношением параметров A/B , что продемонстрировано на рисунке 4. Кривая (1) на рисунке 5 соответствует $b = 1/3 - 0.0001$; кривая (2) – $b = 1/3 - 0.001$; кривая (3) – $b = 0.2$; кривая (4) – $b = 0.05$. Видно как уменьшается разогрев Вселенной с увеличением A/B .

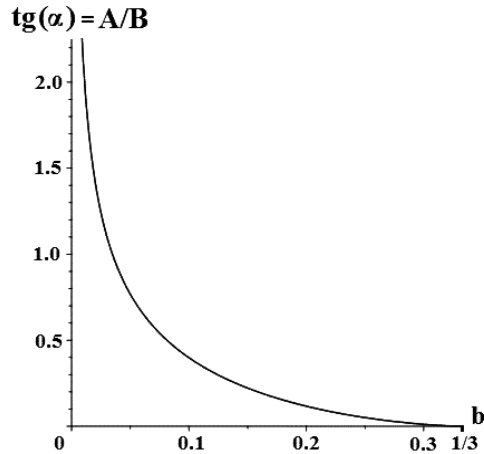


Рис. 4. Поведение отношения параметров A/B в зависимости от максимального значения b функции состояния.

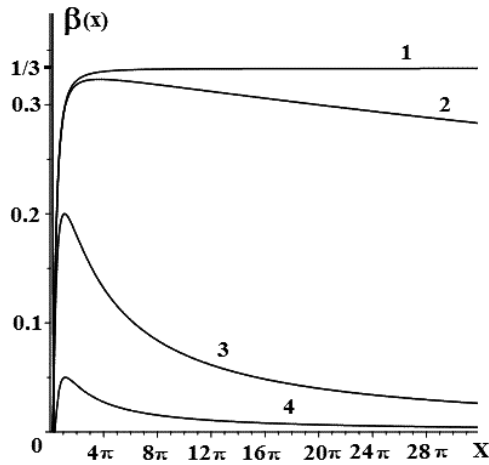


Рис. 5. Пример поведения функции состояния $\beta(x)$ для различных значений максимума $\beta_{max} = b$.

4. Оценка плотности вещества

Для проведения оценок плотностей излучения и массивной материи возьмем в нулевом приближении за параметр, отвечающий за физическое время, переменную S .

Принято считать, что в настоящую эпоху плотности массивной материи и излучения (реликтового) равны [10]:

$$\rho_{mat} = 2 \cdot 10^{-31} \text{Г/см}^3; \quad \rho_{rad} = 4.45 \cdot 10^{-34} \text{Г/см}^3. \quad (4.1)$$

С другой стороны, согласно (1.13) эти плотности связаны с параметрами A и B как

$$\kappa c^2 \rho_{mat} \approx \frac{12A}{S^3} \left(1 + \frac{6A}{S}\right); \quad \kappa c^2 \rho_{rad} = \frac{12B^2}{S^4}, \quad (4.2)$$

где κ – гравитационная постоянная Эйнштейна и c – скорость света берутся в размерных единицах.

Тогда можно оценить в данной модели плотность массовой материи через оценочные значения плотности реликтового излучения и возраста Вселенной следующим образом:

$$\rho_{mat} \approx \frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{12 \rho_{rad}}{\kappa c^2}} \cdot \text{tg}(\alpha), \quad (4.3)$$

где S_0 – оценочная величина возраста Вселенной в настоящую эпоху, равная 13.5 млрд. лет $\approx 1.277 \cdot 10^{28}$ см.

Подставляя в (4.3) значение плотности излучения из (4.1) и приведенное выше численное значение возраста Вселенной, находим

$$\rho_{mat} \approx 1.324 \cdot 10^{-31} \cdot \text{tg}(\alpha) \text{ (г/см}^3\text{)}. \quad (4.4)$$

Сравнение со справочной оценкой плотности массивной материи из (4.1) показывает, что порядок величины, стоящей перед $\text{tg}(\alpha)$ в (4.4), совпадает с порядком справочного значения ρ_{mat} из (4.1).

Чтобы добиться полного совпадения с (4.1) необходимо, чтобы $\text{tg}(\alpha)$ был примерно равен 1.510. В этом случае имеем отношение параметров A/B больше единицы, что и соответствует преобладанию массивной материи над излучением. Однако в нашей модели параметры A и B являются постоянными на всем протяжении временной эволюции модели Вселенной, то есть и вблизи начального момента возникновения Вселенной должно быть это значение A/B . Как видно из графика на рисунке 4 и формулы (3.11), такое значение A/B отвечает $\beta_{max} = b \approx 0.018 \ll 1/3$. Это означает, что Вселенная не будет иметь достаточного разогрева для дальнейшей длительной эволюции. Поэтому, вообще говоря, параметры A и B не должны быть постоянными за все время эволюции Вселенной.

5. Оценка возраста Вселенной

Из всего выше сказанного следует, что кроме всего прочего параметр α (или $\text{tg}(\alpha) = A/B$) отвечает за масштабы (размеры) Вселенной.

Если считать достоверными оценочные значения плотностей массовой материи и излучения, приведенных в (4.1) (см. [10]), то тогда можно получить приближенное выражение, связывающее отношение параметров A , B и размер Вселенной:

$$S_0 = \frac{1}{\rho_{mat}} \cdot \sqrt{\frac{12}{\kappa \rho_{rad}}} \cdot \text{tg}(\alpha). \quad (5.1)$$

Беря известные значения плотностей из (4.1), получим возраст Вселенной в световых годах

$$S_0 \approx 13.5 \cdot 10^9 \cdot \text{tg}(\alpha) \text{ (свет. лет)}. \quad (5.2)$$

В итоге, численное значение, стоящее перед $\text{tg}(\alpha)$, совпадает с современными данными по возрасту Вселенной. Следовательно, $\text{tg}(\alpha) = A/B$, должен быть равен примерно единице, но это означает равенство параметров A и B и противоречит тому, что настоящая эпоха – это эпоха массивной материи, а не излучения. Здесь снова напрашиваются выводы предыдущего параграфа по поводу отношения A/B .

Заключение

Исследовано ранее найденная открытая космологическая модель, полученная с помощью метода эквивалентных потенциалов. В результате показано, что эволюция и возраст Вселенной сильно зависят от отношения параметров, входящих в модель и определяющих как присутствие излучения, так и присутствие массовой материи. Кроме того, разогрев Вселенной на начальной стадии также зависит от этих параметров. Приведены иллюстративные графики, подтверждающие выше сказанное. Однако исследование показало и противоречивость введения выше указанных параметров как неизменных за все время эволюции Вселенной, так как выявилось, что вклады этих параметров за время от начала Вселенной до современной эпохи меняются на противоположные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов А.М., Савельев Е.В. Точные решения для конформно-плоской Вселенной. I. Эволюция модели как задача о движении частицы в силовом поле // Пространство, время и фундаментальные взаимодействия. 2014. № 1. С. 37–46.

2. Фок В.А. Теория пространства, времени и тяготения. М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1961. 563 с.
3. Фридман А.А. О возможности мира с постоянной отрицательной кривизной // УФН. 1963. Т. 80. Вып. 3. С. 447–452.
4. Владимиров Ю.С. Системы отсчета в теории гравитации. М.: Энергоиздат, 1982. 256 с.
5. Mitskievich N.V. *Relativistic Physics in Arbitrary Reference Frames*. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2006.
6. Зельманов А.Л. Хронометрические инварианты и сопутствующие координаты в общей теории относительности // ДАН СССР. 1956. Т. 107. № 6. С. 815–818.
7. Баранов А.М., Савельев Е.В. Сферически-симметричное светоподобное излучение и конформно-плоские пространства-времена // Известия вузов (Физика). 1984. № 7. С. 32–35.
8. Baranov A.M., Saveljev E.V. Spherically symmetric lightlike radiation and conformally flat space-times // *Russ. Phys. J.* 1984. Vol. 27. № 7. P. 569–572.
9. Баранов А.М., Савельев Е.В. Точные решения для конформно-плоской Вселенной. IV. Космологическая модель для «бутылочного» потенциала // *Пространство, время и фундаментальные взаимодействия*. 2015. № 3. С. 61–66.
10. Аллен К.У. Астрофизические величины. М.: Мир, 1977. 446 с.

Поступила в редакцию 22.12.2016

Баранов Александр Михайлович, д. ф.-м. н., профессор, Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева (КГПУ), 660049, Россия, г. Красноярск, ул. Ады Лебедевой, 89 ;
Сибирский государственный аэрокосмический университет имени акад. М.Ф. Решетнева (СибГАУ), 660037, Россия, г. Красноярск, пр. имени газеты «Красноярский рабочий», 31.
E-mail: alex_m_bar@mail.ru; Baranov@stfi.ru

A. M. Baranov

Evolution of the open cosmological model with radiation

Keywords: open cosmological models, function of state, evolution of the Universe.

PACS: 04.20.-q; 04.20.Cv

It is researched earlier discovered open cosmological model received by means of a method of the equivalent potentials. It is as a result shown, that evolution and age of the Universe strongly depend on the relation of the parametres entering into model and defining both presence of radiation, and presence of a mass substance. Besides, the Universe warming-up at an initial stage also depends on these parametres. The illustrative diagrammes confirming above told are given. However examination has shown also inconsistence of introduction above the specified parametres as the constant parameters for all time of evolution of the Universe. Roles of these parametres from the Universe origin till the present epoch change on to the opposite.

REFERENCES

1. Baranov A.M. Saveljev E.V. Exact solutions of the conformally flat Universe. I. The evolution of model as the problem about a particle movement in a force field, *Space, Time and Fundamental Interactions*, 2014, no. 1, pp. 37–46.
2. Fock V.A. *The Theory of Space, Time and Gravitation*, New York: Pergamon, 1964.
3. Friedman A.A. Über die Möglichkeit einer Welt mit konstanter negativer Krümmung des Raumes, *Z. Phys.*, 1924, vol. 21, no. 1, pp. 326–333.
4. Vladimirov Yu.S. *Sistemy otscheta v teorii gravitacii* (Reference Yu. Frames in the Gravitation Theory), Moscow: Energoizdat, 1982, 256 p.
5. Mitskievich N.V. *Relativistic Physics in Arbitrary Reference Frames*, New York: Nova Science Publishers, Inc., 2006.
6. Zelmanov A.L. Chronometric Invariants and co-moving coordinates in general relativity, *DAN USSR*, 1956, vol. 107, no. 6, pp. 815–818.

7. Baranov A.M., Saveljev E.V. Spherically symmetric lightlike radiation and conformally flat space-times, *Izv. vuz. (Fizika)*, 1984, no. 7, pp. 32–35.
8. Baranov A.M., Saveljev E.V. Spherically symmetric lightlike radiation and conformally flat space-times, *Russ. Phys. J.*, 1984, vol. 27, no. 7, pp. 569–572.
9. Baranov A.M., Saveljev E.V. Exact solutions of the conformally flat Universe. IV. Cosmological model with the “bottle” potential, *Space, Time and Fundamental Interactions*, 2015, no. 3, pp. 61–66.
10. Allen C.W. *Astrophysical quantities*, London: University of London, The Athlone Press, 1973.

Received 22.12.2016

Baranov Alexandre Mikhailovich, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P.Astaf'ev, Ada Lebedeva St., 89, Krasnoyarsk, 660049, Russia ;
Siberian State Aerospace University named after acad. M.F. Reshetnev (SibSAU), Av. named after newspaper “Krasnoyarsk worker”, 31, Krasnoyarsk, 660037, Russia.
E-mail: alex_m_bar@mail.ru; Baranov@stfi.ru