

УДК 530.122:524.8

Открытая модель Вселенной как задача об осцилляторе в однородном силовом поле

Баранов Александр Михайлович^{1(*)}alex_m_bar@mail.ru
SPIN-код: 6044-2817**Савельев Евгений Викторович**²

profill07@mail.ru

¹ КГПУ им. В.П. Астафьева, Красноярск, Россия² ООО "PROFILL — 2S", Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена возможность нахождения точных космологических решений уравнений Эйнштейна без космологической постоянной для открытой модели Вселенной путем сведения проблемы к эквивалентной задаче об осцилляторе в однородном силовом поле («механический подход»). Взятая космологическая модель заполнена материей в приближении идеальной жидкости с не равным нулю давлением и на галилеевой асимптотике переходит в открытую космологическую модель Фридмана. Обнаружено влияние «силового поля» на поведение модели.

Ключевые слова: космологические модели, обобщение открытой модели Фридмана

Введение. Ранее был предложен метод конструирования открытых космологических моделей в рамках ОТО путем сведения проблемы к задаче движения частицы силовом поле [1, 2]. Использование механической интерпретации для уравнений тяготения (с тензором энергии-импульса в приближении идеальной жидкости) приводит к возможности рассмотрения различных силовых полей, например потенциальных, с последующей физической интерпретацией получаемых точных космологических решений. В частности, при отсутствии «силы» (движении по инерции) имеем модель Фридмана для открытой Вселенной. Вводя аналог упругой силы Гука и связанного с этим гармонического осциллятора, полученная открытая космологическая модель является обобщением открытой модели Фридмана на случай присутствия и равновесного излучения. Дальнейшее обобщение связано с помещением осциллятора в однородное силовое поле.

Методы и материалы; результаты. Метрика четырехмерного пространства-времени берется в форме Фока [3] как метрика, конформная метрике Минковского ($g_{\mu\nu} = \exp(2\sigma(S)) \cdot \eta_{\mu\nu}$, $\eta_{\mu\nu} = \text{diag}(1, -1, -1, -1)$) с зависимостью от одной переменной S , квадрат которой есть произведение опережающего и запаздывающего времен, $S^2 = t^2 - r^2$; а скорость света и ньютоновская гравитационная постоянная равны единице. При использовании метода $(3+1)$ -расщепления и введении безразмерной переменной $z = B/S$ (параметр B ответственен за наличие излучения) одно из уравнений

Эйнштейна может быть представлено в виде второго закона Ньютона, что позволяет говорить о «механическом подходе» к вопросу о получении космологических моделей (см. [1, 2]). Далее вводится суперпозиция «силы Гука» и «постоянной растягивающей силы». После решения уравнения колебаний с постоянной вынуждающей силой и определения постоянных интегрирования из требования прохождения решения через решение Фридмана на асимптотике для открытой Вселенной можно сконструировать функцию состояния $\beta = p/\varepsilon$, которая в каждый момент времени есть уравнение состояния (p — давление, ε — плотность энергии),

$$\beta = \frac{p}{\varepsilon} = \frac{1}{3} \frac{z \operatorname{ctg}(z + \alpha) \left(1 + f_0 \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2(z + \alpha)} \right)}{z \operatorname{tg}(z + \alpha) + \left(1 + f_0 \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2(z + \alpha)} \right)}.$$

Поведение этой функции иллюстрируется на рис. 1, где каждая кривая соответствует определенным значениям параметров α (ответственного за наличие массовой материи) и f_0 (приведенная «вынуждающая сила»). Кривой 1 отвечают $\alpha = 0$, $f_0 = 0$ (массовая материя отсутствует); кривой 2 соответствуют $\alpha = 0,04$, $f_0 = 0$; а при $\alpha = 0,01$, $f_0 = 5$ реализуется кривая 3.

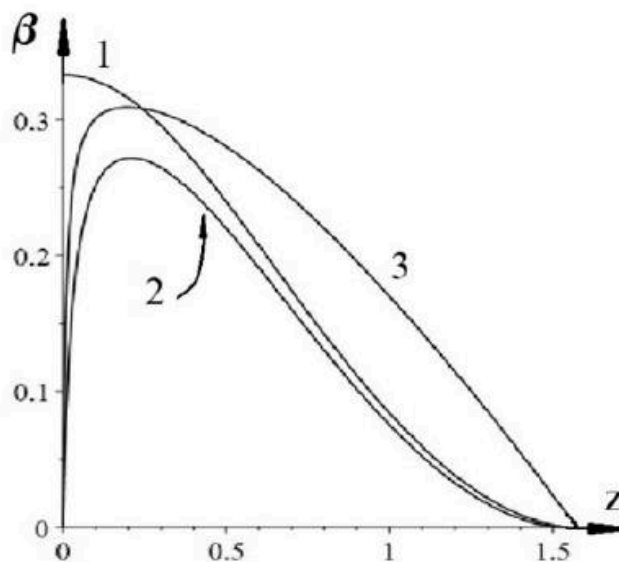


Рис. 1. График поведения функции состояния β в зависимости от значений параметров α и f_0

Заключение. Полученная с помощью «механического подхода» открытая космологическая модель имеет два управляющих параметра α и f_0 , позволяющих менять поведение модели (рис. 1). Например, для кривой 1 в точке $z = 0$ выполняется ультра релятивистское уравнение состояния ($p = \varepsilon/3$),

а «включение» параметра f_0 (кривая 3) приводит к эффекту «компенсации» присутствия массовой материи (кривая 2).

Список источников

- [1] Баранов А.М., Савельев Е.М. Точные решения для конформно-плоской вселенной. I. Эволюция модели как задача о движении частицы в силовом поле. *Пространство, время и физические взаимодействия* (STFI), 2014, № 1, с. 37–46.
- [2] 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* (STFI), 2020, № 3, с. 27–36.
- [3] Фок В.А. *Теория пространства, времени и тяготения*. Москва, ГИЗФМЛ, 1961, 563 с.

The open Universe model as an oscillatory task in a homogenous force field

Baranov Alexandre Mikhailovich^{1(*)}

alex_m_bar@mail.ru
SPIN-code: 6044-2817

Saveljev Evgeny Viktorovich²

profill07@mail.ru

¹ KSPU named after V.P. Astafyev, Krasnoyarsk, Russia

² ООО “PROFILL — 2S”, Moscow, Russia

Abstract. The possibility of finding the exact cosmological solutions of the Einstein equations without cosmological constant for open model of the Universe is considered within the framework of an equivalent oscillatory task in a homogeneous force field (“a mechanical approach”). The taken cosmological model is filled with the matter in approach of perfect fluid with a pressure not equal to zero. On the asymptotic infinity this model is the open cosmological model of Friedman. The influence of the “force field” on behavior of model is discovered.

Keywords: cosmological models, generalization of the open model Friedman

Introduction. Earlier the method of the construction for open cosmological models within general relativity by way of transformation of the problem to the task about of the particle movement in the force field was offered in [1, 2]. Use of mechanical interpretation for the gravitational equations (with the energy-momentum tensor for the perfect fluid) leads to the possibility of consideration of various force fields, for example as the potential field, with the subsequent physical interpretation of the found exact cosmological solutions. In particular, at absence of “force” (i. e. there is the inertial movement) we have the open Universe model of Friedman. If we will take analogs of Hooke's elastic strength and a harmonic oscillator then the found open cosmological model is generalization of the open model Friedman on a case of the presence and of the equilibrium radiation. Further generalization is connected with the oscillator which is in the homogeneous force field.

Methods and materials; results. The four-dimensional space-time metric is chosen in the Fock shape as the conformal metric to Minkowski's metric ($g_{\mu\nu} = \exp(2\sigma(S)) \cdot \eta_{\mu\nu}$; $\eta_{\mu\nu} = \text{diag}(1, -1, -1, -1)$) [3] with dependence on one variable S . The square of this variable is multiplication of the late and advancing times $S^2 = t^2 - r^2$, and the light speed and Newtonian gravity constant are equal to unit. When using the method (3+1)-splittings in 4D space-time and introduction of the dimensionless variable $z = B/S$ (parameter B is responsible for radiation) we can present one of Einstein's equations in the form of the second Newton's law. That allows speaking about “mechanical approach” to the problem of finding cosmological models (see [1, 2]). Further we introduce the superposition of “force of Hook” and “the constant driving force”. After the solution of the oscillator equation with constant driving force we require of passing the solution through the original Friedman solution for the open Universe on the Euclidean asymptotics. In such case we find the integration constants and can write the function of state $\beta = p/\varepsilon$ which in each instant of time is the equation of state (p is a pressure, ε is an energy density),

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_0 + \mathcal{L}_m, \quad (1)$$

$$\mathcal{L}_0 = 2f_0\beta^2 \left[(1/2) \mathcal{R}^a_b \wedge \eta_a^b + \beta^2 \Lambda_0 \eta + l\beta^{-2} d\beta \wedge *d\beta \right].$$

The behavior of this function is illustrated in Fig. 1 where each curve corresponds to defined values of parameters α (responsible for presence of mass matter) and f_0 (reduced “driving force”). We have the curve 1 for $\alpha = 0$, $f_0 = 0$ (mass matter is absent); the curve 2 with values $\alpha = 0,04$ and $f_0 = 0$ and parameters for the curve 3 are $\alpha = 0,01$, $f_0 = 5$.

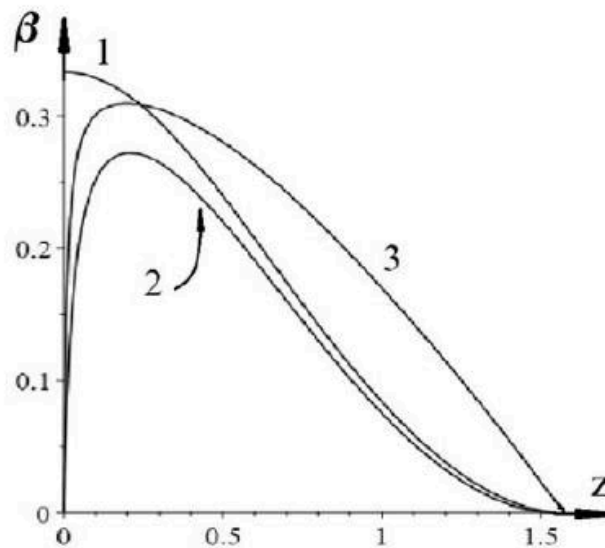


Fig. 1. The behavior graph of the function of state β in dependence on values of parameters α and f_0

Conclusion. The open cosmological model constructed by means of “mechanical approach” has two control parameters α and f_0 which allow to change behavior of model (Fig. 1). For example, for the curve 1 at the point $z = 0$ the ultra relativistic equation of state is satisfied ($p = \varepsilon/3$), and “turning on” of parameter f_0 (curve 3) leads to the effect of “compensating” of the presence of mass matter (curve 2).

References

- [1] Baranov A.M., Saveljev E.V. Exact solutions of the conformal-flat Universe. I. The evolution of model as the problem about a particle movement in a force field. Space, Time and Fundamental Interactions (STFI), 2014, no. 1, pp. 37–46 (In Russ.).
- [2] 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 (STFI), 2020, № 3, c. 27–36.
- [3] Fock V.A. The Theory of Space, Time and Gravitation. New York, Pergamon, 1964.