УДК 524.834

ТОЧНОЕ РЕШЕНИЕ КОСМОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ С НЕМИНИМАЛЬНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ СО СКАЛЯРНЫМ ПОЛЕМ

Тельман Е.Е.,Сагинаев Е.Е.
Магистрант, Студент
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева
г. Нур-Султан, Казахстан
Ergenkazakh75@gmail.com

Скалярно-тензорные теории гравитации являются важными расширениями стандартной общей теории относительности, которые могут объяснить как начальную инфляционную эволюцию, так и более позднее ускоряющееся расширение Вселенной. В данной работе исследуем космологическое решение скалярно-тензорной теории гравитации, в которой скалярное поле ϕ связано с геометрией через произвольную функцию $F(\phi)$. Кинетическая энергия скалярного поля, а также его потенциал самодействия $V(\phi)$ также включены в гравитационное действие. Ранее такие работы были рассмотрены в работах [1,3]. Используя стандартную математическую процедуру, групповой подход Ли и методы теоремы Нётер, получаем несколько точных решений уравнений гравитационного поля, описывающих временные эволюции плоской Вселенной Фридмана-Робертсона-Уокера (ФРУ) в рамках скалярно-тензорной гравитации. Полученные решения могут описывать как ускоряющие, так и замедляющие фазы космологического расширения Вселенной.

Рассмотрим гравитационную модель, в которой скаляр Риччи, описывающий чистую гравитацию, нестандартным образом связан со скалярным полем. Для этой модели гравитационное действие имеет вид

$$S = \int d^4x\sqrt{-g}\left[F(\phi)R + \frac{1}{2}g^{\mu\nu}\nabla_\mu\phi\nabla_\nu\phi - V(\phi)\right], \tag{1}$$

где g является детерминантом метрического тензора $g_{\mu\nu}$, R является скалярной кривизной пространства, $F(\phi)$ является некой функцией связывающие скалярное и гравитационное поля, а $V(\phi)$ является потенциальной энергией. Знак плюс появляется в кинетическом члене действия (1), соответствующем фантомной фазе расширения Вселенной.

Рассмотрим плоскую пространствено-временую метрику ФРУ:

$$ds^2 = dt^2 - a^2(t)\left(dx^2 + dy^2 + dz^2\right), \tag{2}$$

где $a(t)$ является масштабным фактором завѣсящий от времени t. Для этой метрики имеем следующие выражения

$$\sqrt{-g} = a^3,\ R = -6\left(\frac{\ddot{a}}{a} + \frac{\dot{a}^2}{a^2}\right),\ L_\phi = \frac{1}{2}\phi^2 - V(\phi). \tag{3}$$

Функцию Лагранжа для действия (1) и метрики (2) можно записать в виде

$$L = 6F(\phi)a\dot{a}^2 + 6F'(\phi)a^2\dot{a}\dot{\phi} + \frac{1}{2}a^3\dot{\phi}^2 - a^3V(\phi). \tag{4}$$

Найдем уравнение движение с помощю уравнение Эйлера-Лагранжа и условия нулевого энергия

$$\frac{\partial L}{\partial a} - \frac{d}{dt}\frac{\partial L}{\partial \dot{a}} = 0 \tag{5}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \phi} - \frac{d}{dt}\frac{\partial L}{\partial \dot{\phi}} = 0 \tag{6}$$

$$E = \frac{\partial L}{\partial \dot{a}}\dot{a} + \frac{\partial L}{\partial \dot{\phi}}\dot{\phi} - L = 0 \tag{7}$$

Соответствующие полевые уравнения запищим как

$$6H\left(FH + F^{'}\dot{\phi}\right) + \frac{1}{2}\dot{\phi}^2 + V = 0, \tag{8}$$

$$2\dot{H} + 3H^2 + \frac{F^{'}}{F}\left(\ddot{\phi} + 2H\dot{\phi}\right) + \frac{\dot{\phi}^2}{F}\left(F^{''} - \frac{1}{4}\right) + \frac{1}{2F}V = 0, \tag{9}$$

$$\ddot{\phi} + 3H\dot{\phi} + V^{'} + 6\left(2H^2 + \dot{H}\right)F^{'} = 0. \tag{10}$$

Здесь $H = \dot{a}/a$ является параметром Хаббла, точка над буквой обозначает производную по времени t и штрих обозначает производную по ϕ. Ниже рассмотрим следующие частные решения для функции связи $F(\phi)$ и потенциальной энергии $V(\phi)$, как

$$F(\phi) = \lambda\phi,\ V(\phi) = V_0\phi^n, \tag{11}$$

где F_0 и V_0 являются некими постоянными выличинами. Тогда систему уравнений (8)-(10) можно будет переписать как

$$6\lambda\phi H^2 + 6\lambda H\dot{\phi} + \frac{1}{2}\dot{\phi}^2 + V_0\phi^n = 0, \tag{12}$$

$$2\lambda\phi\dot{H} + 3\lambda\phi H^2 + \lambda\left(\ddot{\phi} + 2H\dot{\phi}\right) - \frac{1}{4}\dot{\phi}^2 + \frac{1}{2}V_0\phi^n = 0, \tag{13}$$

$$\ddot{\phi} + 3H\dot{\phi} + V_0 + 12\lambda H^2 + 6\lambda\dot{H} = 0. \tag{14}$$

Предположим, что в уравнений (14)

$$12\lambda H^2 + 6\lambda\dot{H} = 0,$$

Интегрируя последнее уравнение получим частное решения для масштабного фактора $a(t)$, как

$$a(t) = \left(2C_1 t + 2C_2\right)^{\frac{1}{2}}, \tag{15}$$

где C_1 и C_2 являются константами интегрирования. Параметр уравнения состояния определяем из выражения

$$\omega = \frac{p}{\rho}, \qquad (16)$$

при $C_1 = 1$ и $C_2 = 1$ параметр уравнения состояния равен $\omega = 1/3$, которое соответсвует барионной матери. На рисунке 1 представалено зависимость параметра уравнения состояния ω от времени t при $C_1 = 0{,}111$ и $C_2 = 5$.

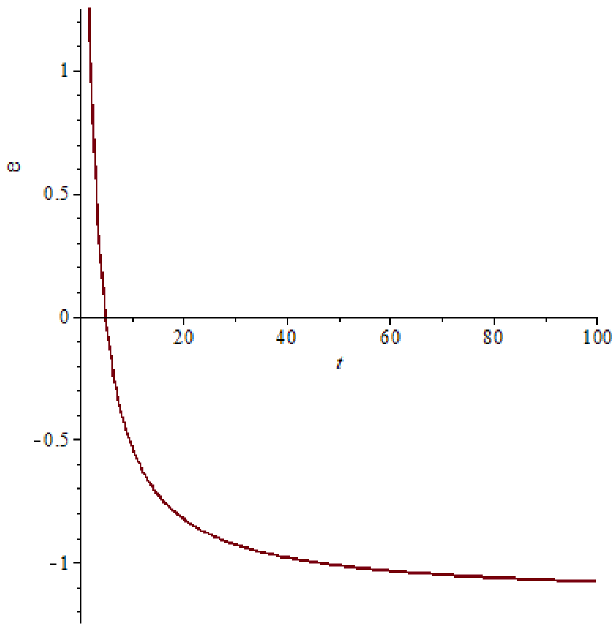

Рисунок 1. Зависимость параметра уравнения состояния ω от времени t при $C_1 = 0{,}111$ и $C_2 = 5$.

Уравнение (14) можно записать, как

$$\ddot{\phi} + 3H\dot{\phi} + V_0 = 0. \qquad (17)$$

В ускоренно расширяющейся Вселенной скалярное поле скатывается очень медлено, следовательно

$$\ddot{\phi} << 3H\dot{\phi}$$

То уравнение (17) примет вид

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{V_0(2C_1t + 2C_2)^4}{6C_1^4}, \qquad (18)$$

Интегрируя, получем

$$\phi(t) = \frac{8V_0}{15C_1^5}\left(C_1 t + C_2\right)^5 + \phi_0, \qquad (19)$$

Таким образом полученные нами решения описывают ускоренное расширение Вселенной, которая соответсвует имеющим на сегодняшнии день наблюдательным данным.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан, грант AP09261147.

Автор выражает благодарность своему научному руководителю д.ф.-м.н., профессору Мырзакулову Р. за постановку задачи.

Список использованных источников

1. Capozziello S., Nojiri S., Odintsov S.D. Dark Energy: the equation of state description versus scalar-tensor or modified gravity // Physics Letters B., 2006. T. 634. №2-3. С.93-100.
2. Motavali H., Capozziello S., Rowshan Almeh Jog M. Scalar–tensor cosmology with R^{-1} curvature correction by Noether symmetry // Physics Letters B., 2008. T. 666. №1. С. 10-15.
3. Terzis Petros A., Dimakis N., Christodoulakis T. Noether analysis of scalar-tensor cosmology // Physical review D., 2014. T. 90. С. 12-15.
4. Paolella M., Capozziello S. Hojman symmetry approach for scalar-tensor cosmology // Physics Letters A., 2015. T. 379. С. 1304-1308.
5. Capozziello S., de Ritis R. Noether’s symmetries and exact solutions in flat nonminimally coupled cosmological models // Classical and Quantum Gravity., 1994. T. 11. С. 107-1117.
6. Belinchon J.A., Harko T., Mak M.K. Exact Scalar-Tensor Cosmological Models // International Journal of Modern Physics D., 2017. T. 26. № 7. С. 1750073

ӘОЖ 577.32

ҚАТЕРЛІ ІСІКТЕРДІҢ ӨСУ МЕХАНИЗМІН КВАНТТЫҚ МЕХАНИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ

Төлеген Нұршат Әбдімүтәліпқызы
e-mail: nurshat011001@gmail.com
Ғылыми жетекші: PhD, доцент м.а. Мырзақұл Т.Р .

Жыл сайын миллиондаған адамдар әртүрлі онкологиялық аурулардан қайтыс болады және бұл әлемдегі адамдардың өлімінің басты себептерінің бірі. 2020-2021 жылдардың деректері бойынша он тоғыз миллион үш жүз мың адам онкология ауруларының құрбаны болды және олардың он миллионға жуығы қайтыс болды [1]. Жыл сайын науқастардың саны артып келеді, бірақ өлім-жітім деңгейі баяу төмендейді, өйткені онкологиялық ауруларды диагностикалау мен емдеудің есептеу модельдері мен әдістері дамып, жақсарып келеді . Осы тұрғыдан алғанда кванттық-механикалық зерттеу тәсілдері әмбебап және ең бастысы наноөлшемді жүйелерді сипаттау үшін дұрысырақ. Кванттық механикалық әдіс заттың құрылымы, энергияның дискреттілігі туралы корпускулалық-толқындық концепцияға негізделген және молекулалардың химиялық байланыстардың құрылысын, заттардың реакциялық қабілетін зерттеуде кеңінен қолданылады. Бұл жұмыста автор әртүрлі ісіктердің медициналық суреттерін өңдеді [2] фракталдық талдауарқылы [3], онда суреттердегі зақымд ану аймақтары үлкен фракталдылыққа ие.

Бөлімдер саны бізге кескін ұяшықтарға қанша рет бөлінгенін көрсетеді. Бөлімдер саны неғұрлым көп болса, жасуша мөлшері соғұрлым аз болады.