

УДК 530.12:531.51:519.711.3

DOI: 10.17223/00213411/62/3/62

Ю.Г. ИГНАТЬЕВ, И.А. КОХ

КАЧЕСТВЕННЫЙ И ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ КОСМОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ, ОСНОВАННОЙ НА АСИММЕТРИЧНОМ СКАЛЯРНОМ ДУБЛЕТЕ С МИНИМАЛЬНЫМИ СВЯЗЯМИ. IV. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТИПЫ ПОВЕДЕНИЯ МОДЕЛИ*

На основе качественного и численного анализа космологической модели, основанной на асимметричном скалярном дублете нелинейных минимально взаимодействующих скалярных полей, классического и фантомного, выявлены особенности поведения модели вблизи гиперповерхностей нулевой энергии. Построены численные модели, в которых динамическая система имеет предельные циклы на гиперповерхностях нулевой энергии. Выделены три типа поведения космологической модели, реализующиеся в зависимости от фундаментальных констант скалярных полей и начальных условий. Показано, что в широком секторе значений фундаментальных констант и начальных условий космологические модели имеют тенденцию «прилипания» к гиперповерхностям нулевой энергии, соответствующим 4-мерному евклидову пространству.

Ключевые слова: космологическая модель, фантомное скалярное поле, классическое скалярное поле, асимметричный скалярный дублет, качественный анализ, численное моделирование, предельные евклидовы циклы.

Введение

В предыдущих работах [1–3] авторами были проведены качественный анализ космологической модели, основанной на асимметричном скалярном дублете, аналитическое и численное исследование ее поведения вблизи гиперповерхностей нулевой эффективной энергии. В [3] были также введены карты особых точек динамической системы, описываемой нормальной автономной системой обыкновенных дифференциальных уравнений [1]:

$$\begin{aligned}\Phi' &= Z, \\ Z' &= -\sqrt{3}Z \sqrt{\left(Z^2 + e\Phi^2 - \frac{\alpha_m}{2}\Phi^4\right) - \left(z^2 - \varepsilon\mu^2\varphi^2 + \frac{\beta_m}{2}\varphi^4\right) + \lambda_m - e\Phi + \alpha_m\Phi^3}, \\ \varphi' &= z; \\ z' &= -\sqrt{3}z \sqrt{\left(Z^2 + e\Phi^2 - \frac{\alpha_m}{2}\Phi^4\right) - \left(z^2 - \varepsilon\mu^2\varphi^2 + \frac{\beta_m}{2}\varphi^4\right) + \lambda_m + \varepsilon\mu^2\varphi - \beta_m\varphi^3},\end{aligned}\tag{1}$$

где

$$\alpha_m = \frac{\alpha}{m^2}, \quad \beta_m = \frac{\beta}{m^2}, \quad \lambda_m = \frac{\lambda}{m^2}, \quad \Lambda_m = \lambda_m - \frac{1}{2\alpha_m} - \frac{\mu^2}{2\beta_m}, \quad \mu \equiv \frac{m}{m}$$

– нормированные безразмерные параметры модели, которые мы будем задавать в виде списка $\mathbf{P}$:

$$\mathbf{P} \equiv [\alpha_m, \beta_m, e, \varepsilon, \mu, \lambda_m], \quad \mathbf{I} \equiv [\Phi(0), Z(0), \varphi(0), z(0)],\tag{2}$$

а $\mathbf{I}$ – список начальных условий**.

В данной работе проведено детальное численное исследование космологической эволюции асимметричного скалярного дублета в зависимости от параметров модели с учетом результатов предыдущего качественного анализа. Заметим, что постоянная Хаббла $H(t)$ и инвариантное космологическое ускорение Ω определяются формулами [3]***

$$H(t) = \frac{\dot{a}}{a} \geq 0, \quad \Omega(t) = \frac{a\ddot{a}}{\dot{a}^2} \equiv 1 + \frac{\dot{H}}{H^2} = -\frac{1}{2}(1 + 3w),\tag{3}$$

* The work is performed according to the Russian Government Program of Competitive Growth of Kazan Federal University.

** Поскольку система (1) инвариантна по отношению к переносам безразмерного времени τ , выбор начального момента времени $\tau_0 = 0$ не имеет никакого значения.

*** Заметим, что условие $H \geq 0$, используемое в нашей работе, как показано в [4], может быть снято, по крайней мере, для случая одиночного классического поля в модели с неминимальным взаимодействием.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>