

УДК 524.85

Космологические решения с потенциалом Хиггса в скалярно-торсионной теории гравитации

Большакова Катерина Александровна^{1(*)}

bolshakova.ktrn@gmail.com
SPIN-код: 1734-7171

Червон Сергей Викторович^{1, 2, 3}

chervon.sergey@gmail.com
SPIN-код: 8040-2820

¹ УлГПУ им. И.Н. Ульянова, Ульяновск, Россия

² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

³ КФУ, Казань, Россия

Аннотация. В работе получены космологические решения для модели с потенциалом Хиггса в сценариях степенной и промежуточной инфляции в рамках скалярно-торсионной теории гравитации. Найдены ограничения на параметры модели, позволяющие согласовать полученные решения с наблюдательными данными.

Ключевые слова: скалярно-торсионная теория гравитации, $f(T)$ -гравитация, потенциал Хиггса, степенная инфляция, промежуточная инфляция, космологические параметры

Введение. Настоящая работа посвящена исследованию инфляции с потенциалом Хиггса в скалярно-торсионной теории гравитации (или $f(T)$ -гравитации) [1]. На данный момент существует только одна работа, посвященная данному исследованию в рамках $f(T)$ -гравитации [2].

Методы и материалы; результаты. В данной работе рассматривается модель в скалярно-торсионной теории гравитации, описываемая следующим действием [1]:

$$s = \int d^4x \left[-\frac{1}{2} F(\varphi) T - \frac{1}{2} \omega(\varphi) \partial_\mu \varphi \partial^\mu \varphi - V(\varphi) \right], \quad (1)$$

где $e = \sqrt{-g}$ — тетрада, $F(\varphi)$, $\omega(\varphi)$, $V(\varphi)$ — произвольные функции скалярного поля φ , T — скаляр кручения. Фоновая геометрия описывается метрикой ФРУ с тетрадой $e_\mu^A = \text{diag}\{1, a(t), a(t), a(t)\}$. Уравнения космологической динамики, полученные варьированием действия (1) по тетраде, анализируются с использованием функции неминимального взаимодействия $F(\varphi(t)) = \left(\frac{H(t)}{\lambda}\right)^n$, где $\lambda > 0, n = \text{const}$. Уравнения для потенциала $V(\varphi)$ и кинетической функции $\omega(\varphi)$ имеют вид [1]:

$$V(\varphi) = \frac{H^n}{\lambda^n} (3H^2 + \dot{H}(1+n)), \quad \frac{1}{2} \omega(\varphi) \dot{\varphi}^2 = - \left(\frac{H}{\lambda}\right)^n \dot{H}(1+n). \quad (2)$$

Кроме того, получены следующие уравнения [1]:

$$\dot{H} = \dot{H}(H), H(\varphi) = H(t). \quad (3)$$

Полученные уравнения (2) и (3) позволяют проводить анализ инфляционных решений. Зная, как параметр Хаббла меняется со временем $H(t)$, уравнения (3) позволяют найти его зависимость $H(\varphi)$. Значит можно определить вид потенциала скалярного поля $V(t)$ из (2) [1]. Теперь задаем правую часть в уравнении (2) для $V(t)$ как функцию от времени $T(1/t)$ [3], а левую часть уравнения (2) приравняем к потенциалу Хиггса. Таким образом, можно получить эволюцию скалярного поля $\varphi(t)$ в условиях заданного параметра Хаббла и потенциала Хиггса.

В случае степенной инфляции с параметром Хаббла $H = m/t$, установлено, что для соответствия наблюдательным ограничениям параметр n должен находиться в диапазоне $-0.99 \leq n \leq -0.83$. Для модели промежуточной инфляции с параметром Хаббла $H = \frac{A\beta}{t^{(1-\beta)}}$, где $A > 0$ и $0 < \beta < 1$, получены следующие результаты: при $\beta = 0,999$ модель согласуется с наблюдательными данными в диапазоне $-17,479 \leq n \leq -1,1$, а при $\beta = 0,001$ — в диапазоне $-1 < n \leq -0,831$.

Заключение. Применение методов, представленных в работах [2, 3], дает возможность получения решений с потенциалом Хиггса для различных типов параметра Хаббла. В частности, модели степенной и промежуточной инфляции с неминимальной связью $F(\varphi(t)) = \left(\frac{H(t)}{\lambda}\right)^n$ и потенциалом Хиггса, демонстрируют удовлетворительное согласие с экспериментальными ограничениями.

Исследование выполнено в рамках Соглашения о предоставлении субсидии из федерального бюджета на финансовое обеспечение выполнения государственного задания на оказание государственных услуг (выполнения работ) № 073-03-2025-066 от 16.01.2025, заключенным между ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова» и Министерством просвещения Российской Федерации.

Список источников

- [1] Chervon S.V., Fomin I.V. Reconstruction of Scalar-Torsion Gravity Theories from the Physical Potential of a Scalar Field. Symmetry, 2023, no. 15, art. no. 291. <https://doi.org/10.3390/sym15020291>
- [2] Raatikainen S., Rasanen S. Higgs inflation and teleparallel gravity. JCAP, 2019, vol. 12, art. no. 021. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1910.03488>
- [3] Fomin I.V., Chervon S.V., Tsyganov A.V. Generalized scalar-tensor theory of gravity reconstruction from physical potentials of a scalar field. Eur. Phys. J. C, 2020, vol. 80, art. no. 350. <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-7893-y>

Cosmological Solutions with the Higgs Potential in Scalar-Torsion Gravity

Bolshakova Katerina Alexandrovna^{1(*)}

bolshakova.ktrn@gmail.com

SPIN-code: 1734-7171

Chervon Sergey Viktorovich^{1, 2, 3}

chervon.sergey@gmail.com

SPIN-code: 8040-2820

¹Ulyanovsk State Pedagogical University, Ulyanovsk, Russia

²BMSTU, Moscow, Russia

³Kazan Federal University, Kazan, Russia

Abstract. This study presents cosmological solutions for a model with the Higgs potential in the frameworks of power-law and intermediate inflation scenarios within the scalar-torsion theory of gravity. Constraints on the model parameters are obtained, ensuring the consistency of the derived solutions with observational data.

Keywords: scalar-torsion gravity, $f(T)$ -gravity, Higgs potential, power-law inflation, intermediate inflation, cosmological parameters

Introduction. This work is devoted to the study of inflation with the Higgs potential in the framework of scalar-torsion gravity (or $f(T)$ -gravity) [1]. To date, only one study has explored this issue within the $f(T)$ -gravity framework [2].

Methods and materials; results. The model under consideration in scalar-torsion gravity is described by the following action [1]:

$$S = \int d^4e \left[-\frac{1}{2}F(\varphi)T - \frac{1}{2}\omega(\varphi)\partial_\mu\varphi\partial^\mu\varphi - V(\varphi) \right], \quad (1)$$

where $e = \sqrt{-g}$ is the tetrad determinant, and $F(\varphi), \omega(\varphi), V(\varphi)$ are arbitrary functions of the scalar field φ , while T denotes the torsion scalar. The background geometry is described by the FLRW metric with the tetrad $e_\mu^A = \text{diag}\{1, a(t), a(t), a(t)\}$. The cosmological dynamics equations, obtained by varying the action (1) with respect to the tetrad, are analyzed using the nonminimal coupling function $F(\varphi(t)) = \left(\frac{H(t)}{\lambda}\right)^n$, where $\lambda > 0, n = \text{const}$. The equations for the potential $V(\varphi)$ and the kinetic function $\omega(\varphi)$ take the form [1]:

$$V(\varphi) = \frac{H^n}{\lambda^n} (3H^2 + \dot{H}(1+n)), \quad \frac{1}{2}\omega(\varphi)\dot{\varphi}^2 = -\left(\frac{H}{\lambda}\right)^n \dot{H}(1+n). \quad (2)$$

Additionally, the following equations are obtained [1]:

$$\dot{H} = \dot{H}(H), \quad H(\varphi) = H(t). \quad (3)$$

The obtained equations (2) and (3) allow for the analysis of inflationary solutions. Knowing how the Hubble parameter evolves over time $H(t)$, equations (3) enable us to determine its dependence $H(\varphi)$. Consequently, the scalar field poten-

tial $V(t)$ can be determined from (2) [1]. By expressing the right-hand side of equation (2) for $V(t)$ as a function of time $T(1/t)$ [3] and equating the left-hand side to the Higgs potential, we derive the evolution of the scalar field $\varphi(t)$ under the conditions of a given Hubble parameter and Higgs potential.

For the case of power-law inflation with the Hubble parameter $H = \frac{m}{t}$, it is established that to satisfy observational constraints, the parameter n must be in the range $-0.99 \leq n \leq -0.83$. For the intermediate inflation model, where $H = \frac{A\beta}{t^{(1-\beta)}}$ with $A > 0$ and $0 < \beta < 1$, the following results are obtained: When $\beta = 0,999$, consistency with observational data is achieved for $-17,479 \leq n \leq -1,1$, When $\beta = 0,001$, consistency is achieved for $-1 < n \leq -0,831$.

Conclusion. The methods presented in [2, 3] enable the derivation of solutions with the Higgs potential for various forms of the Hubble parameter. In particular, power-law and intermediate inflation models with a nonminimal coupling $F(\varphi(t)) = \left(\frac{H(t)}{\lambda}\right)^n$ and the Higgs potential demonstrate satisfactory agreement with experimental constraints.

This research was carried out within the framework of the Agreement on the provision of a subsidy from the federal budget for the financial support of the execution of the state task for the provision of public services (execution of works) No. 073-03-2025-066 dated 16.01.2025, concluded between Ulyanovsk State Pedagogical University named after I.N. Ulyanov and the Ministry of Education of the Russian Federation.

References

- [1] Chervon S.V., Fomin I.V. Reconstruction of Scalar-Torsion Gravity Theories from the Physical Potential of a Scalar Field. *Symmetry*, 2023, no. 15, art. no. 291. <https://doi.org/10.3390/sym15020291>
- [2] Raatikainen S., Rasanen S. Higgs inflation and teleparallel gravity. *JCAP*, 2019, vol. 12, art. no. 021. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1910.03488>
- [3] Fomin I.V., Chervon S.V., Tsyganov A.V. Generalized scalar-tensor theory of gravity reconstruction from physical potentials of a scalar field. *Eur. Phys. J. C*, 2020, vol. 80, art. no. 350. <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-7893-y>