

УДК 524.882:834

Сингулярный отскок в теории гравитации с неминимальной кинетической связью

Сушков Сергей Владимирович

sergey_sushkov@mail.ru

КФУ, Казань, Россия

Аннотация. Нами был исследован сценарий *отскока* в рамках однородных и изотропных космологических моделей с произвольной пространственной кривизной в теории гравитации с неминимальной кинетической связью скалярного поля с кривизной, заданной членом $(\zeta / H_0^2) G^{\mu\nu} \phi_{;\mu} \phi_{;\nu}$ в лагранжиане. В общем случае модель определяется шестью безразмерными параметрами: параметром связи ζ и параметрами плотности Ω_0 (космологическая постоянная), Ω_2 (пространственная кривизна), Ω_3 (нерелятивистская материя), Ω_4 (излучение), Ω_6 (скалярное поле). Как и ожидалось, мы обнаружили, что в космологических моделях с отрицательной или нулевой пространственной кривизной нет точек поворота и/или отскоков. В то же время в модели с положительной пространственной кривизной могут существовать как точка поворота, так и отскок. В частности, отскок — когда сжатие Вселенной сменяется расширением — происходит при $\tau = \tau_*$, когда $a(\tau_*) = a_{\min} = (3\zeta\Omega_2)^{1/2}$, где $\tau = H_0 t$ — безразмерное космическое время, а τ_* — момент, когда происходит отскок. Важный факт, что значение $a_{\min}$ зависит только от ζ и Ω_2 , и не зависит от Ω_0 , Ω_3 и Ω_4 . Таким образом, мы заключаем, что космологическая постоянная и обычная материя (в форме пыли и излучения) оказываются «заэкранированными» в окрестности отскока. Нами было получено асимптотическое поведение масштабного фактора и параметра Хаббла вблизи отскока: $a(\tau) \approx a_{\min}(1 + \Delta\tau^2/18\zeta)$ и $h(\tau) \approx \Delta\tau/9\zeta$, где $\Delta\tau = \tau - \tau_*$. Таким образом, было показано, что масштабный фактор $a(\tau)$, параметр Хаббла $h(\tau)$ и все соответствующие геометрические инварианты имеют регулярное поведение вблизи отскока. В частности, $a(\tau) \rightarrow a_{\min}$, $h(\tau) \rightarrow 0$ при $\tau \rightarrow \tau_*$. Также регулярны вблизи отскока значения, характеризующие плотность энергии материи, такие как $\rho_m \sim a^{-3}$ и $\rho_r \sim a^{-4}$. В то же время нами было показано, что, хотя геометрия пространства-времени и плотность энергии материи остаются регулярными вблизи отскока, скалярное поле имеет там сингулярное поведение. А именно, $d\phi/d\tau \sim 1/\Delta\tau^2 \rightarrow \infty$ при $\Delta\tau \rightarrow 0$. В результате нами был сделан вывод, что полная динамическая система, описывающая космологическую эволюцию в теории гравитации с неминимальной кинетической связью, является сингулярной вблизи отскока. Насколько нам известно, такой сценарий, когда геометрия пространства-времени и плотности энергии материи остаются регулярными при приближении эволюции Вселенной к моменту отскока, в то время как поведение скалярного поля становится сингулярным, ранее был неизвестен. По этой причине этот сценарий был назван нами «сингулярным» отскоком.

Ключевые слова: кротовая нора, динамическая кротовая нора, вселенная Фридмана

Данная работа была поддержана грантом Фонда развития теоретической физики и математики «БАЗИС» № 24-1-1-39-1.

Список источников

- [1] Sushkov S.V., Galeev R.G. Singular bounce in the theory of gravity with nonminimal derivative coupling. *Physical Review D*, 2025, vol. 111, art. no. 083554. <https://arxiv.org/abs/2502.05786>; <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.111.083554>

Singular bounce in the theory of gravity with nonminimal derivative coupling

Sushkov Sergey Vladimirovich

sergey_sushkov@mail.ru

Kazan Federal University, Kazan, Russia

Abstract. We explore bounce scenarios in the framework of homogeneous and isotropic cosmological models with arbitrary spatial curvature in the theory of gravity with non-minimal derivative coupling of a scalar field to the curvature given by the term $(\zeta / H_0^2) G^{\mu\nu} \phi_{;\mu} \phi_{;\nu}$ in the Lagrangian. In general, a cosmological model is determined by six dimensionless parameters: the coupling parameter ζ , and density parameters Ω_0 (cosmological constant), Ω_2 (spatial curvature term), Ω_3 (non-relativistic matter), Ω_4 (radiation), Ω_6 (scalar field term). As expected, we find that there are no turning points and/or bounces in cosmological models with negative or zero spatial curvature. At the same time, both a turning point and a bounce can exist in the model with positive spatial curvature. In particular, the bounce — when the Universe's contraction is replaced by expansion — is happened at $\tau = \tau_*$ when $a(\tau_*) = a_{\min} = (3\zeta\Omega_2)^{1/2}$, where $\tau = H_0 t$ is a dimensionless cosmic time and τ_* is a moment when the bounce happens. It is important fact that the value $a_{\min}$ depends only on ζ and Ω_2 , and does not depend on Ω_0 , Ω_3 and Ω_4 . We find that near the bounce $a(\tau) \approx a_{\min}(1 + \Delta\tau^2/18\zeta)$ and $h(\tau) \approx \Delta\tau/9\zeta$, where $\Delta\tau = \tau - \tau_*$. Thus, the scale factor $a(\tau)$, the Hubble parameter $h(\tau)$, and all corresponding geometrical invariants have a regular behavior near the bounce. In particular, $a(\tau) \rightarrow a_{\min}$, $h(\tau) \rightarrow 0$ as $\tau \rightarrow \tau_*$. As well the values characterizing matter energy densities, such as $\rho_m \sim a^{-3}$ and $\rho_r \sim a^{-4}$, are regular near the bounce. Nevertheless, though the spacetime geometry and energy densities remain to be regular near the bounce, the scalar field has a singular behavior there. Namely, $d\phi/d\tau \sim 1/\Delta\tau^2 \rightarrow \infty$ as $\Delta\tau \rightarrow 0$. As a result, we conclude that the complete dynamical system describing the cosmological evolution in theory of gravity with non-minimal derivative coupling is singular near the bounce. On our knowledge, such the scenario, when the spacetime geometry and matter energy densities remain to be regular at approaching the universe evolution to the moment of bounce, while the behavior of scalar field becomes singular, was unknown before. For this reason, we term this scenario as a singular bounce.

Keywords: wormhole, dynamic wormhole, Friedmann universe

This work was supported by a grant from the Foundation for the Development of Theoretical Physics and Mathematics «BASIS» № 24-1-1-39-1.

References

- [1] Sergey V. Sushkov, Rafkat G. Galeev, Singular bounce in the theory of gravity with nonminimal derivative coupling. *Physical Review D* **111**, 083554 (2025); <https://arxiv.org/abs/2502.05786>; <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.111.083554>.