

УДК 5530.12+531.51+517.944+519.713+514.774+519.711.3+551.5.001.57+517.957

© Игнатьев Ю. Г., 2023

ЭВОЛЮЦИЯ СФЕРИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ В КОСМОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ ВЫРОЖДЕННЫХ СКАЛЯРНО ЗАРЯЖЕННЫХ ФЕРМИОНОВ С ХИГГСОВЫМ СКАЛЯРНЫМ ПОЛЕМ

Игнатьев Ю. Г.^{a,1}^a Казанский федеральный университет, г. Казань, 420008, Россия

Сформулирована математическая модель эволюции плоских возмущений в космологической двухкомпонентной статистической системе полностью вырожденных скалярно заряженных фермионов с асимметричным скалярным Хиггсовым взаимодействием. Построена полная замкнутая система дифференциальных уравнений, описывающих невозмущенное состояние однородной и изотропной системы, и система самосогласованных эволюционных уравнений малых возмущений. Найдены и исследованы решения системы эволюционных уравнений в коротковолновом приближении. Показано, что в такой системе возникают неустойчивые коротковолновые моды возмущений. Выявлены и определены области неустойчивости коротковолновых возмущений и установлено соответствие модели ранее изученным моделям.

Ключевые слова: скалярно заряженная плазма, космологическая модель, скалярное поле Хиггса, гравитационная устойчивость, сферические возмущения.

EVOLUTION OF SPHERICAL PERTURBATIONS IN THE COSMOLOGICAL MEDIUM OF DEGENERATE SCALARLY CHARGED FERMIONS WITH A HIGGS SCALAR FIELD

Ignat'ev Yu. G.^{a,1}^a Kazan Federal University, Kazan, 420008, Russia

A mathematical model is formulated for the evolution of plane perturbations in a cosmological two-component statistical system of completely degenerate scalarly charged fermions with an asymmetric scalar Higgs interaction. A complete closed system of differential equations describing the unperturbed state of a homogeneous and isotropic system and a system of self-consistent evolution equations of small perturbations are constructed. Solutions of the system of evolutionary equations in the short-wavelength approximation are found and investigated. It is shown that unstable short-wavelength perturbation modes arise in such a system. The regions of instability of short-wave disturbances are identified and determined, and the correspondence of the model to the previously studied models is established.

Keywords: scalarly charged plasma, cosmological model, Higgs scalar field, gravitational stability, spherical perturbations.

PACS: 04.20.Cv, 98.80.Cq, 96.50.S, 52.27.Ny, 02.60.Cb, 07.05.Tr, 04.25.-g

DOI: 10.17238/issn2226-8812.2023.1.71-74

На основе теории гравитирующих статистических систем со скалярным взаимодействием частиц построена и исследована математическая модель эволюции сферически - симметричных возмущений в космологической материи, состоящей из вырожденных скалярно заряженных фермионов с Хиггсовым скалярным взаимодействием.

¹E-mail: yurii.ignat'ev.1947@yandex.ru

1. Математическая модель состоит из трех подсистем систем дифференциальных уравнений, в которой первая автономная подсистема описывает невозмущенную космологическую модель и, в свою очередь, состоит из четырех нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений и их первым нормированным интегралом, вторая подсистема описывает эволюцию полных массы и заряда, отвечающих сингулярной части сферических возмущений, и представляет систему двух линейных однородных обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка и, наконец, третья подсистема описывает эволюцию несингулярных частей возмущений и представляет систему двух однородных линейных уравнений в частных производных. Коэффициенты всех уравнений зависят от времени и определяются фоновыми решениями подсистемы.
2. Найдены характеристики и ВКБ-решения уравнений в коротковолновом приближении, на основе которых подтверждено наличие неустойчивости.
3. Найдено общее решение уравнений в форме интеграла Фурье.
4. На основе полученных уравнений решена задача об эволюции пространственно локализованных в начальный момент времени возмущений, обращающихся в нуль вместе с первыми производными по радиальной переменной на сфере заданного радиуса. Решение можно представить полиномами по радиальной переменной с нечетными степенями. При этом коэффициенты полиномов представляют временные функции, удовлетворяющих системе рекуррентных неоднородных линейных обыкновенных дифференциальных уравнений.
5. В частном, физически значимом случае кубического полинома система уравнений на несингулярную часть возмущений сведена к системе двух неоднородных линейных дифференциальных уравнений второго порядка, на основе которой показано сохранение координатного радиуса локализации возмущения в процессе эволюции. При этом физический радиус локализации эволюционирует пропорционально масштабному фактору.
6. Проведено численное интегрирование всех трех подсистем модели в случае полиномиального возмущения третьей степени, на основе которого продемонстрирован экспоненциальный рост центральной массы возмущения и колебательный характер растущего заряда.

Список литературы

1. Ignat'ev Yu.G. Gravitational-Scalar Instability of a Two-Component Degenerate System of Scalarly Charged Fermions with Asymmetric Higgs Interaction. *Gravit. Cosmol.*, 2022, **28:1** pp. 25–36; arXiv:2203.11948 [gr-qc].
2. Ignat'ev Yu.G. Single-field model of gravitational-scalar instability. I. Evolution of perturbations. *Gravit. Cosmol.*, 2022, **28:3**, pp. 275–290; arXiv:2207.05066 [gr-qc].
3. Ignat'ev Yu.G. Single-field model of gravitational-scalar instability. II. Formation of black holes. *Gravit. Cosmol.*, 2022, **28:4** (will be published).
4. Ignat'ev Yu.G., Ignat'ev D.Yu. Космологические модели на основе статистической системы скалярно заряженных вырожденных фермионов и асимметричного Хиггсова скалярного дублета. *Theoret. and Math. Phys.*, 2021, **209**, pp. 1437–1472; arXiv:2111.00492 [gr-qc].
5. Ignat'ev Yu.G., Agathonov A.A., Ignatyev D.Yu. Cosmological evolution of a statistical system of degenerate scalar-charged fermions with an asymmetric scalar doublet. I. Two-component system of assorted charges. *Gravit. Cosmol.*, 2021, **27:4**, pp. 338–349; arXiv:2203.11946 [gr-qc].
6. Ignat'ev Yu.G., Popov A.A. Kinetic equations for ultrarelativistic particles in a Robertson - Walker universe and isotropization of relict radiation by gravitational interactions. *Astrophys. Space Sci.*, 1990, **163**, pp. 153–174; arXiv:1101.4303 [gr-qc].
7. Ignat'ev Yu.G., Popov A.A. Spherically symmetric perturbation of a ultrarelativistic fluid in a homogeneous and isotropic universe. *Phys. Lett. A.*, 1996, **220**, pp. 22–29; arXiv:gr-qc/9604028v1 [gr-qc].
8. Ignat'ev Yu.G., Elmakhi N. A dynamic model of spherical perturbations in the Friedmann Universe. I. *Russ. Phys. J.*, 2008, **51:1**, pp. 74–88; arXiv:1101.1414 [gr-qc].
9. Ignat'ev Yu.G., Elmakhi N. A dynamic model of spherical perturbations in the Friedmann Universe. I. *Russ. Phys. J.*, 2008, **51:1**, pp. 74–88; arXiv:1101.1414 [gr-qc].

10. Ignat'ev Yu.G. Stability of the Cosmological System of Degenerated Scalarly Charged Fermions and Higgs Scalar Fields. I. Mathematical Model of Linear Plane Perturbations. *Gravit. Cosmol.*, 2021, **27**, 30; arXiv:2103.13866.
11. Игнат'ев Ю.Г. Релятивистский канонический формализм и инвариантная одночастичная функция распределения. *Известия ВУЗов, Физика*. 1983. **26**. Вып. 8. С. 15–19.
12. Ignat'ev Yu.G. The Self-Consistent Field Method and the Macroscopic Universe Consisting of a Fluid and Black Holes. *Gravit. Cosmol.*, 2019, **25**, no. 4, pp. 354–361; arXiv:1908.03488 [gr-qc].
13. Ignat'ev Yu.G., Elmakhi N. A dynamic model of spherical perturbations in the Friedmann Universe. II. Retarded solutions to an ultrarelativistic equation of state. *Russ. Phys. J.*, 2008, **51:1**, pp. 735–745; arXiv:1101.1544 [gr-qc].
14. Ignat'ev Yu.G., Elmakhi N. A dynamic model of spherical perturbations in the Friedmann universe. III. Self-similar solutions. *Russ. Phys. J.*, 2009, **52:1**, pp. 15–24; arXiv:1101.1558 [gr-qc].
15. Ignat'ev Yu.G., Kokh I.A. Complete cosmological model based on a asymmetric scalar Higgs doublet. *Theor. Math. Phys.*, 2021, **207:1**, 514.
16. Ignat'ev Yu., Agathonov A., Mikhailov M., Ignatyev D. Cosmological Evolution of Statistical System of Scalar Charged Particles. *Astrophys. Space Sci.*, 2015, **357:61**; arXiv:1411.6244v1 [gr-qc].
17. Ignat'ev Yu.G. Nonminimal Macroscopic Models of a Scalar Field Based on Microscopic Dynamics: Extension of the Theory to Negative Masses *Gravit. Cosmol.*, 2015, **21:4**, pp. 296–308.

References

1. Ignat'ev Yu.G. Gravitational-Scalar Instability of a Two-Component Degenerate System of Scalarly Charged Fermions with Asymmetric Higgs Interaction. *Gravit. Cosmol.*, 2022, **28:1**, pp. 25–36; arXiv:2203.11948 [gr-qc].
2. Ignat'ev Yu.G. Single-field model of gravitational-scalar instability. I. Evolution of perturbations. *Gravit. Cosmol.*, 2022, **28:3**, pp. 275–290; arXiv:2207.05066 [gr-qc].
3. Ignat'ev Yu.G. Single-field model of gravitational-scalar instability. II. Formation of black holes. *Gravit. Cosmol.*, 2022, **28:4** (will be published).
4. Ignat'ev Yu.G., Ignat'ev D.Yu. Cosmological Models Based on a Statistical System of Scalar Charged Degenerate Fermions and an Asymmetric Higgs Scalar Doublet. *Theoret. and Math. Phys.*, 2021, **209**, pp. 1437–1472; arXiv:2111.00492 [gr-qc].
5. Ignat'ev Yu.G., Agathonov A.A., Ignatyev D.Yu. Cosmological evolution of a statistical system of degenerate scalar-charged fermions with an asymmetric scalar doublet. I. Two-component system of assorted charges. *Gravit. Cosmol.*, 2021, **27:4**, pp. 338–349; arXiv:2203.11946 [gr-qc].
6. Landau L.D., Lifshitz E.M. *The Classical Theory of Fields*. Pergamon Press. Oxford· New York· Toronto· Sydney· Paris· Frankfurt, 1971.
7. Ignat'ev Yu.G., Popov A.A. Kinetic equations for ultrarelativistic particles in a Robertson - Walker universe and isotropization of relict radiation by gravitational interactions. *Astrophys. Space Sci.*, 1990, **163**, pp. 153–174; arXiv:1101.4303 [gr-qc].
8. Ignat'ev Yu.G., Popov A.A. Spherically symmetric perturbation of a ultrarelativistic fluid in a homogeneous and isotropic universe. *Phys. Lett. A.*, 1996, **220**, pp. 22–29; arXiv:gr-qc/9604028v1 [gr-qc].
9. Ignat'ev Yu.G., Elmakhi N. A dynamic model of spherical perturbations in the Friedmann Universe. I. *Russ. Phys. J.*, 2008, **51:1**, pp. 74–88; arXiv:1101.1414 [gr-qc].
10. Ignat'ev Yu.G. Stability of the Cosmological System of Degenerated Scalarly Charged Fermions and Higgs Scalar Fields. I. Mathematical Model of Linear Plane Perturbations. *Gravit. Cosmol.*, 2021, **27**, 30; arXiv:2103.13866.
11. Ignat'ev Yu.G. Relativistic canonical formalism and the invariant single-particle distribution function in the general theory of relativity. *Soviet Physics Journal*, 1983, **26**, pp. 686–690.
12. Ignat'ev Yu.G. The Self-Consistent Field Method and the Macroscopic Universe Consisting of a Fluid and Black Holes. *Gravit. Cosmol.*, 2019, **25**, no. 4, pp. 354–361; arXiv:1908.03488 [gr-qc].
13. Ignat'ev Yu.G., Elmakhi N. A dynamic model of spherical perturbations in the Friedmann Universe. II. Retarded solutions to an ultrarelativistic equation of state. *Russ. Phys. J.*, 2008, **51:1**, pp. 735–745; arXiv:1101.1544 [gr-qc].

14. Ignat'ev Yu.G., Elmakhi N. A dynamic model of spherical perturbations in the Friedmann universe. III. Self-similar solutions. *Russ. Phys. J.*, 2009, **52:1**, pp. 15–24; arXiv:1101.1558 [gr-qc].
15. Ignat'ev Yu.G., Kokh I.A. Complete cosmological model based on a asymmetric scalar Higgs doublet. *Theor. Math. Phys.*, 2021, **207:1**, 514.
16. Ignat'ev Yu., Agathonov A., Mikhailov M., Ignatyev D. Cosmological Evolution of Statistical System of Scalar Charged Particles. *Astrophys. Space Sci.*, 2015, **357:61**; arXiv:1411.6244v1 [gr-qc].
17. Ignat'ev Yu.G. Nonminimal Macroscopic Models of a Scalar Field Based on Microscopic Dynamics: Extension of the Theory to Negative Masses. *Gravit. Cosmol.*, 2015, **21:4**, pp. 296–308.

Авторы

Игнат'ев Юрий Геннадьевич, д. ф.-м. н., профессор, НИЛ "Космология Институт физики, Казанский федеральный университет, ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия.

E-mail: yurii.ignatev.1947@yandex.ru

Пробьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Игнат'ев Ю. Г. Эволюция сферических возмущений в космологической среде вырожденных скалярно заряженных фермионов с Хиггсовым скалярным полем. *Пространство, время и фундаментальные взаимодействия*. 2023. № 1. С. 71–74.

Authors

Ignat'ev Yuri Gennadievich, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Institute of Physics, Kazan Federal University, Kremlyovskaya str., 35, Kazan, 420008, Russia.

E-mail: yurii.ignatev.1947@yandex.ru

Please cite this article in English as:

Ignat'ev Yu. G. Evolution of spherical perturbations in the cosmological medium of degenerate scalarly charged fermions with a Higgs scalar field. *Space, Time and Fundamental Interactions*, 2023, no. 1, pp. 71–74.