

УДК 530.122

DOI: 10.18384/2310-7251-2023-2-29-37

## ПРОБЛЕМА ТЕМНОЙ МАТЕРИИ И КОРРЕКЦИИ ФОРМУЛЫ ГРАВИТАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА МЕЖГАЛАКТИЧЕСКИХ РАССТОЯНИЯХ

**Волкова О. А.<sup>1</sup>, Хамис Хассан М. Х.<sup>1</sup>, Евдокимов Н. В.<sup>1</sup>, Камалов Ю. Т.<sup>1</sup>, Камалов Т. Ф.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Государственный университет просвещения  
141014, Московская обл., г. Мытищи, ул. Веры Волошиной, д. 24,  
Российская Федерация

<sup>2</sup> Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)  
141700, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., д. 9,  
Российская Федерация

### **Аннотация**

**Цель:** подобрать корректирующие поправки в виде дополнительных переменных в уравнениях движения для анализа проблемы тёмной материи.

**Процедура и методы.** Проведены исследования методом введения высших производных в виде нелокальных переменных для описания гравитационного взаимодействия на межгалактических расстояниях. Проведён анализ содержания работ в соотнесении формулы гравитационного взаимодействия на галактических расстояниях от ускорения и её высших производных по времени.

**Результаты.** Подобранный теоретическая поправка даёт хорошее совпадение теории с экспериментальными результатами и позволяет объяснить ранее необъяснимые эффекты, приводящие к понятию тёмной материи. Это становится возможным с помощью введения дополнительных переменных в виде высших производных.

**Теоретическая и/или практическая значимость** заключается в новых полученных нами результатах вычисления поведения галактик с помощью коррекционной поправки к формуле гравитационного взаимодействия на межгалактических расстояниях. Такие теоретические расчёты совпадают с экспериментальными данными.

**Ключевые слова:** высшие производные по времени уравнения движения, классическая механика, тёмная метрика для тёмной материи

## PROBLEM OF DARK MATTER AND CORRECTION OF GRAVITATIONAL INTERACTION AT GALACTIC DISTANCES

*O. Volkova<sup>1</sup>, M. H. Khamis Hassan<sup>1</sup>, N. Evdokimov<sup>1</sup>, Yu. Kamalov<sup>1</sup>, T. Kamalov<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> State University of Education

*ul. Very Voloshinoy 24, Mytishchi 141014, Moscow Region, Russian Federation*

<sup>2</sup> Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University)

*Institutskii per. 9, Dolgoprudnyi 141701, Moscow Region, Russian Federation*

### **Abstract**

**Aim.** We select corrective corrections in the form of additional variables in the equations of motion to analyze the problem of dark matter.

**Methodology.** The research is based on the introduction of higher-order derivatives in the form of non-local variables to describe the gravitational interaction at intergalactic distances. Works are analyzed that correlate the formula of gravitational interaction at galactic distances from acceleration and its higher derivatives with respect to time.

**Results.** The selected theoretical formula yields good agreement between theory and the experimental results, and makes it possible to explain previously unexplained effects leading to the concept of dark matter. This becomes possible by introducing additional variables in the form of higher-order derivatives.

**Research implications.** We have obtained new results that allow the behavior of galaxies to be calculated using the correction formula for the gravitational interaction at intergalactic distances. Theoretical calculations coincide with the experimental data.

**Keywords:** higher time derivatives of the equation of motion, classical mechanics, dark metric for dark matter

### **Введение**

Проблема тёмной материи возникает в результате различия между теорией и данными наблюдений. Поиск частиц, которые могли бы объяснить это расхождение теории с экспериментом, не дал желаемых результатов [1–4]. Все попытки объяснить существование тёмной материи [5–8], включая поиск частиц, которые являются причиной тёмной материи – эксперименты с аксионами [9], не дали результатов. Объяснить топологическую скорость движения звёзд на окраинах галактик [10] без введения понятия тёмной материи не удаётся. В нашем случае предположение того, что необходимость введения тёмной материи можно заменить введением теоретических поправок к формуле гравитационного взаимодействия. Если провести расчёт коррекционной поправки с помощью дополнительных переменных в уравнения движения с использованием высших производных, известных как «формализм Остроградского», то формула зависимости скорости вращения галактик соответствует наблюдательным данным. Высшие производные координат по времени, описанные формализмом Остроградского, помогают найти соответствие теоретических и наблюдательных данных. Использование формализма Остроградского для объяснения разницы в результатах между

теорией и данными наблюдений помогает устранить необходимость вводить термин тёмной материи.

В публикациях М. Милгрона приводится модификация формулы гравитационного взаимодействия с помощью коррекции закона Ньютона. Коррекция формулы закона гравитационного взаимодействия объясняет вращение галактик без привлечения тёмной материи. В этом случае ускорение зависит нелинейно от создающей его массы для малых ускорений, а гравитационная сила, которая действует на движение звезды во внешних областях галактики, пропорциональна квадрату её центростремительного ускорения, если гравитационная сила изменяется обратно пропорционально, линейно радиусу [11].

Исследование вращательного движения спиральных галактик, проведенное Верой Рубин [12] в начале 1970-х годов, показало, что скорость вращения внешних окраин ближайшей к нам галактики Андромеды почти постоянна для всех её внешних частей и не зависит от расстояния от центра. Поскольку такая постановка вопроса противоречит ожиданиям, то скорость движения внешних окраин галактики должна зависеть от её расстояния до центра галактики.

Это подробно обсуждалось в работе Рами Ахмад Эль-Набулси [13], где основные теоретические свойства нелокального во времени подхода к кинетической энергии введены в рамках нелокальной классической ньютоновской механики.

Нелокальные переменные, рассмотренные в работе Анджеевского [14; 15], обеспечивают расширение теории с помощью высших производных. В работе обсуждаются свойства симметрии нелокальной теории на случай стандартного бесконечного числа степеней свободы генератора с частотами, пропорциональными последовательным нечётным целым числам ионных операторов.

Использование нелокальных переменных в виде высших производных может быть применено для коррекции формулы гравитационного взаимодействия на межгалактических расстояниях.

### **Корректирующая поправка формулы гравитационного взаимодействия на межгалактических расстояниях**

Можно ли подобрать корректирующий коэффициент для формулы гравитационного взаимодействия с целью объяснения проблемы тёмной материи? Модификация гравитационного взаимодействия путём введения корректирующего коэффициента или модифицирующей функции является одним из подходов, который был предложен в попытке объяснить проблему тёмной материи без введения новых форм материи. Однако такие модификации должны быть согласованы с множеством экспериментальных данных и ограничений и требуют серьёзных теоретических и экспериментальных исследований для их проверки и подтверждения.

Существует ряд моделей, предлагающих модификации гравитационного взаимодействия на космологических или галактических масштабах. Например, модифицированная теория Ньютона (Modified Newtonian Dynamics, MOND) и модифицированная теория гравитации (Modified Gravity, MG) предлагают изменения в гравитационных уравнениях, которые пытаются объяснить наблюдаемые аномалии в движении галактик без введения тёмной материи. В этих моделях вводятся дополнительные функции или параметры, которые изменяются в зависимости от масштаба или плотности вещества.

Однако такие модели также сталкиваются с определёнными ограничениями и трудностями. Они должны быть согласованы с множеством наблюдений, таких как космическое микроволновое фоновое излучение, скопления галактик, космологические наблюдения и другие, и также должны быть согласованы с экспериментальными данными внутри нашей Солнечной системы. Кроме того, такие модели могут сталкиваться с проблемами стабильности, противоречиями с общей теорией относительности и другими теоретическими и экспериментальными ограничениями.

Таким образом, модификация гравитационного взаимодействия для объяснения проблемы тёмной материи является интересным направлением, но требует дополнительных исследований, тестирования и согласования с экспериментальными данными, прежде чем она может быть однозначно принята или отклонена. В нашем подходе корректирующая поправка для гравитационного взаимодействия на галактических расстояниях имеет вид

$$F = m \frac{GM}{r^2} e^{\left(\frac{-\lambda}{r}\right)}. \quad (1)$$

В асимптотике такой корректирующий коэффициент должен стремиться к единице для справедливости формулы гравитационного взаимодействия Ньютона на малых расстояниях, т. е.  $e^0 \approx 1$ . Скорректированная формула Ньютона [16] имеет вид

$$G \frac{mM_g}{r_g^2} \left(1 - \frac{\lambda}{r} + \frac{\lambda^2}{r^2} - \dots\right) \approx \frac{mv^2}{r_g}, \quad (2)$$

где

$$v \approx \sqrt{\frac{GM_g}{r_g}} \left(1 - \frac{\lambda}{r} + \frac{\lambda^2}{r^2} - \dots\right) \quad (3)$$

с поправочным коэффициентом  $\left(1 - \frac{\lambda}{r} + \frac{\lambda^2}{r^2} - \dots\right)$  для гравитационного взаимодействия на больших расстояниях,  $r_g$  и  $M_g$  – радиус вращения Галактики и масса Галактики. Гравитационное взаимодействие на больших межгалактических расстояниях может не совпадать с гравитационным взаимодействием на малых расстояниях. По утверждению Эйнштейна известное гравитационное взаимодействие достоверно справедливо и оценивается в пределах Солнечной системы.

Сила гравитационного взаимодействия в нашем случае может выражаться с использованием бесконечного разложения в ряд Тейлора. Если этот ряд заменить экспонентой [17], то мы можем записать метрику

$$ds^2 = e^{-r_0/r} dt^2 - e^{r_0/r} dr^2 - r^2 d\theta^2 - r^2 \sin^2 \theta d\phi^2, \quad (4)$$

которую мы называем тёмной метрикой, где  $r_0 = 2GM$ .

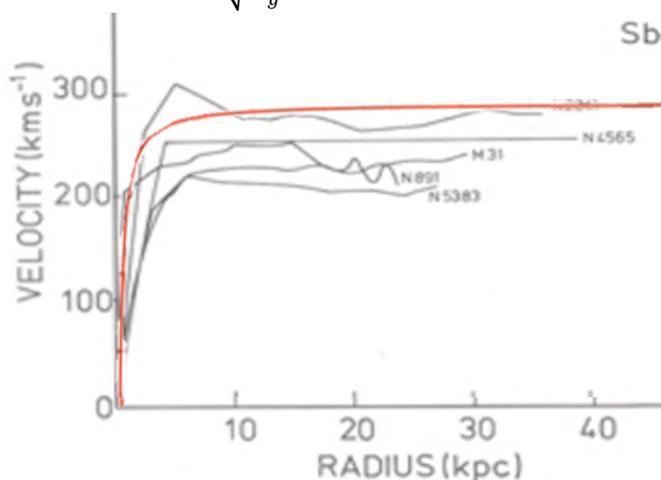
В нашем случае тёмная метрика является асимптотикой метрики Шварцшильда для  $r_0 < r$ .

Тёмную метрику также можно получить из стандартной метрики:

$$ds^2 = B(r)dt^2 - A(r)dr^2 - r^2 d\theta^2 - r^2 \sin^2 \theta d\phi^2 \quad (5)$$

Условия  $A(r) = B(r) = 1$  и  $\lim A(r) = \lim B(r) = 1$  для  $r \rightarrow \infty$  должны выполняться для стандартной метрики. Тёмная метрика также удовлетворяет этим условиям. Гравитационные силы представлены в виде ряда с переменными знаками.

$$v \approx \sqrt{\frac{GM_g}{r_g}} e^{-\lambda/2r} \quad (6)$$



**Рис. 1 / Fig. 1.** График зависимости скоростей вращения галактик от их расстояния до центра. Результаты исследования авторов изображены красным цветом / Galaxy rotation speeds vs. their distance to the center. The authors' results are shown in red  
Источник: [1].

На рис. 1 чёрные линии – это кривые вращения 5 галактик, опубликованные Альбертом Босмой в 1978 году [1]. Красные линии – это наши результаты с коррекционной поправкой.

$$v = \sqrt{\frac{GM_g}{r_g}} e^{-\lambda/2r} = \sqrt{\frac{6,674 \cdot 10^{-11} \cdot 9 \cdot 10^{40}}{5 \cdot 10^{20}}} \cdot e^{-\frac{1}{2r}}. \quad (7)$$

Учёт высших производных в разложении Тейлора служит поправкой к наблюдаемому значению ускорения расширения Вселенной.

### Заключение

Любая теория должна иметь свои границы применимости. В работе показано, что необходимость введения понятия тёмная материя не является необходимым, а может быть заменено корректирующей поправкой к формуле гравитационного взаимодействия на межгалактических расстояниях. Подобранная теоретическая формула даёт хорошее совпадение с экспериментальными результатами. Мы надеемся, что гравитационная коррекция формулы на галактических расстояниях поможет решить проблему тёмной материи.

*Статья поступила в редакцию 24.11.2022 г.*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Bertone G., Hooper D. History of Dark Matter // *Reviews of Modern Physics*. 2018. Vol. 90. Iss. 4. Article 045002. DOI: 10.1103/RevModPhys.90.045002
2. Popescu S. Nonlocality beyond quantum mechanics // *Nature Physics*. 2014. Vol. 10(4). P. 264–270. DOI: 10.1038/nphys2916.
3. El-Nabulsi R. A. Fractional nonlocal Newton's law of motion and emergence of Bagley-Torvik equation // *Journal of Peridynamics and Nonlocal Modeling*. 2020. Vol. 2. P. 50–58. DOI: 10.1007/s42102-019-00018-6.
4. Nonlocality and communication complexity / Buhrman H., Cleve R., Massar S., de Wolf R. // *Reviews of Modern Physics*. 2010. Vol. 82. Iss. 1. P. 665–698. DOI: 10.1103/RevModPhys.82.665.
5. El-Nabulsi R. A. Nonlocal approach to energy bands in periodic lattices and emergence of electron mass enhancement // *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 2018. Vol. 122. P. 167–173. DOI: 10.1016/j.jpcs.2018.06.028.
6. El-Nabulsi R. A. Massive photons in magnetic materials from nonlocal quantization // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2018. Vol. 458. P. 213–216. DOI: 10.1016/j.jmmm.2018.03.012.
7. El-Nabulsi R. A. Complex Backward–Forward Derivative Operator in Non-local-In-Time Lagrangians Mechanics // *Qualitative Theory of Dynamical Systems*. 2017. Vol. 16. Iss. 2. P. 223–234. DOI: 10.1007/s12346-016-0187-y.
8. El-Nabulsi R. A. Time-nonlocal kinetic equations, jerk and hyperjerk in plasmas and solar physics // *Advances in Space Research*. 2018. Vol. 61. Iss. 12. P. 2914–2931.
9. Sikivie P. Experimental Tests of the “Invisible” Axion // *Physical Review Letters*. 1983. Vol. 51. Iss. 16. P. 1415–1417. DOI: 10.1103/PhysRevLett.51.1415.
10. Delort T. Aether, Dark Matter, and the Topology of the Universe // *International Journal of Physics*. 2015. Vol. 3. Iss. 1. P. 17–28. DOI: 10.12691/ijp-3-1-4.
11. Milgrom M. Modification of Newtonian dynamics as a possible alternative to the hidden mass hypothesis // *Astrophysical Journal*. 1983. Vol. 270. P. 365–370.
12. Rubin V. C., Ford Jr. W. K. Rotation of the Andromeda Nebula from a Spectroscopic Survey of Emission Regions // *The Astrophysical Journal*. 1970. Vol. 159. P. 379. DOI: 10.1086/150317.
13. El-Nabulsi R. A. Nonlocal-in-time kinetic energy in nonconservative fractional systems, disordered dynamics, jerk and snap and oscillatory motions in the rotating fluid tube //

- International Journal of Non-Linear Mechanics. 2017. Vol. 93. P. 65–81. DOI: 10.1016/j.ijnonlinmec.2017.04.010.
14. Andrzejewski K. Nonlocal dynamics and infinite nonrelativistic conformal symmetries // *Physics Review D*. 2016. Vol. 93. Iss. 6. Article no. 065010. DOI: 10.1103/PhysRevD.93.065010.
15. El-Nabulsi R. A. From classical to discrete gravity through exponential nonstandard Lagrangians in general relativity // *Mathematics*. 2015. Vol. 3. Iss. 3. P. 727–745. DOI: 10.3390/math3030727
16. Kamalov T. F. Simulation of Nuclear Interaction // *Particle Physics on the Eve of LHC: Proceedings of the Thirteenth Lomonosov Conference on Elementary Particle Physics (Moscow, Russia, 23–29 August 2007)* / ed. A. Studenikin. Singapore: World Scientific Press editor, 2009. P. 439–442. DOI: 10.1142/9789812837592\_0076.
17. Kamalov T. F. Quantum correction for Newton's law of motion // *Symmetry*. 2020. Vol. 12. Iss. 1. P. 63. DOI: 10.3390/SYM12010063.

### REFERENCES

1. Bertone G., Hooper D. History of Dark Matter. In: *Reviews of Modern Physics*, 2018, vol. 90, iss. 4, article 045002. DOI: 10.1103/RevModPhys.90.045002.
2. Popescu S. Nonlocality beyond quantum mechanics. In: *Nature Physics*, 2014, vol. 10(4), pp. 264–270. DOI: 10.1038/nphys2916.
3. El-Nabulsi R. A. Fractional nonlocal Newton's law of motion and emergence of Bagley-Torvik equation. In: *Journal of Peridynamics and Nonlocal Modeling*, 2020, vol. 2, pp. 50–58. DOI: 10.1007/s42102-019-00018-6.
4. Buhrman H., Cleve R., Massar S., de Wolf R. Nonlocality and communication complexity. In: *Reviews of Modern Physics*, 2010, vol. 82, iss. 1, pp. 665–698. DOI: 10.1103/RevModPhys.82.665.
5. El-Nabulsi R. A. Nonlocal approach to energy bands in periodic lattices and emergence of electron mass enhancement. In: *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 2018, vol. 122, pp. 167–173. DOI: 10.1016/j.jpics.2018.06.028.
6. El-Nabulsi R. A. Massive photons in magnetic materials from nonlocal quantization. In: *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2018, vol. 458, pp. 213–216. DOI: 10.1016/j.jmmm.2018.03.012.
7. El-Nabulsi R. A. Complex Backward–Forward Derivative Operator in Non-local-In-Time Lagrangians Mechanics. In: *Qualitative Theory of Dynamical Systems*, 2017, vol. 16, iss. 2, pp. 223–234. DOI: 10.1007/s12346-016-0187-y.
8. El-Nabulsi R. A. Time-nonlocal kinetic equations, jerk and hyperjerk in plasmas and solar physics. In: *Advances in Space Research*, 2018, vol. 61, iss. 12, pp. 2914–2931.
9. Sikivie P. Experimental Tests of the “Invisible” Axion. In: *Physical Review Letters*, 1983, vol. 51, iss. 16, pp. 1415–1417. DOI: 10.1103/PhysRevLett.51.1415.
10. Delort T. Aether, Dark Matter, and the Topology of the Universe. In: *International Journal of Physics*, 2015, vol. 3, iss. 1, pp. 17–28. DOI: 10.12691/ijp-3-1-4.
11. Milgrom M. Modification of Newtonian dynamics as a possible alternative to the hidden mass hypothesis. In: *Astrophysical Journal*, 1983, vol. 270, pp. 365–370.
12. Rubin V. C., Ford Jr. W. K. Rotation of the Andromeda Nebula from a Spectroscopic Survey of Emission Regions. In: *The Astrophysical Journal*, 1970, vol. 159, p. 379. DOI: 10.1086/150317.
13. El-Nabulsi R. A. Nonlocal-in-time kinetic energy in nonconservative fractional systems, disordered dynamics, jerk and snap and oscillatory motions in the rotating fluid tube. In:

- International Journal of Non-Linear Mechanics*, 2017, vol. 93, pp. 65–81.  
DOI: 10.1016/j.ijnonlinmec.2017.04.010.
14. Andrzejewski K. Nonlocal dynamics and infinite nonrelativistic conformal symmetries. In: *Physics Review D*, 2016, vol. 93, iss. 6, article no. 065010. DOI: 10.1103/PhysRevD.93.065010.
15. El-Nabulsi R. A. From classical to discrete gravity through exponential nonstandard Lagrangians in general relativity. In: *Mathematics*, 2015, vol. 3, iss. 3, pp. 727–745. DOI: 10.3390/math3030727
16. Kamalov T. F. Simulation of Nuclear Interaction. In: Studenikin A., ed. *Particle Physics on the Eve of LHC: Proceedings of the Thirteenth Lomonosov Conference on Elementary Particle Physics (Moscow, Russia, 23–29 August 2007)*. Singapore, World Scientific Press editor, 2009, pp. 439–442. DOI: 10.1142/9789812837592\_0076.
17. Kamalov T. F. Quantum correction for Newton's law of motion. In: *Symmetry*, 2020, vol. 12, iss. 1, pp. 63. DOI: 10.3390/SYM12010063.
- 

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Камалов Тимур Фянович* – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры фундаментальной физики и нанотехнологии Государственного университета просвещения; доцент кафедры теоретической физики Московского физико-технического института (национального исследовательского университета);

e-mail: timkamalov@gmail.com;

*Волкова Ольга Алексеевна* – аспирант кафедры фундаментальной физики и нанотехнологии Государственного университета просвещения;

e-mail: olka.volkova96@yandex.ru;

*Евдокимов Николай Валерьевич* – аспирант кафедры фундаментальной физики и нанотехнологии Государственного университета просвещения;

e-mail: nv.evdokimov@gmail.com;

*Хамис Хассан Махер Хосни* – аспирант кафедры фундаментальной физики и нанотехнологии Государственного университета просвещения;

e-mail: m.khamis@yandex.ru.

*Камалов Юрий Тимурович* – аспирант кафедры фундаментальной физики и нанотехнологии Государственного университета просвещения;

e-mail: kamalov@gmail.com

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Timur F. Kamalov* – Cand. Sci. (Phys.-Math.), Assoc. Prof., Department of Fundamental Physics and Nanotechnology, State University of Education, Assoc. Prof., Department of Theoretical Physics, Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University);

e-mail: timkamalov@gmail.com;

*Olga A. Volkova* – Postgraduate Student, Department of Fundamental Physics and Nanotechnology, State University of Education;

e-mail: olka.volkova96@yandex.ru;

*Nikolay V. Evdokimov* – Postgraduate Student, Department of Fundamental Physics and Nanotechnology, State University of Education;  
e-mail: nv.evdokimov@gmail.com;

*Maher Hosni Khamis Hassan* – Postgraduate Student, Department of Fundamental Physics and Nanotechnology, State University of Education;  
e-mail: m.khamis@yandex.ru;

*Yuriy T. Kamalov* – Postgraduate Student, Department of Fundamental Physics and Nanotechnology, State University of Education;  
e-mail: kamalov@gmail.com.

---

### ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Проблема темной материи и коррекции формулы гравитационного взаимодействия на межгалактических расстояниях/ Волкова О. А., Хамис Хассан М. Х., Евдокимов Н. В., Камалов Ю. Т., Камалов Т. Ф. // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика. 2023. № 1. С. 29–37.  
DOI: 10.18384/2310-7251-2023-2-29-37.

### FOR CITATION

Volkova O. A., Khamis Hassan M. H., Evdokimov N. V., Kamalov Y. T., Kamalov T. F. Problem of dark matter and correction of the formula for gravitational interaction at intergalactic distances. In: *Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Physics and Mathematics*, 2023, no. 1, pp. 29–37.  
DOI: 10.18384/2310-7251-2023-2-29-37.