

МРНТИ 41.29.17; 41.29.33

<https://doi.org/10.26577/RCPH.2022.v80.i1.03>**А.А. Солодовник^{ORCID}, П.И. Леонтьев^{ORCID}, Б.М. Усеинов*^{ORCID}**Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, Казахстан, г. Петропавловск
*e-mail: buseinov@gmail.com

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ВСЕЛЕННОЙ, ИСХОДЯ ИЗ СВЯЗИ ИНЕРТНОЙ И ГРАВИТАЦИОННОЙ МАСС

Рассматривается вопрос о физической взаимосвязи понятий инертной и гравитационной массы. Показано отсутствие единого мнения о пути его решения. На основании предположения о природе инертной массы, как результата взаимодействия выделенного тела со всеми объектами Вселенной, в рамках стандартных представлений о её свойствах последовательно оцениваются некоторые общие физические характеристики Мегамира. При этом в соответствии с основными положениями современной космологии применяется представление о равномерном распределении материи в ранней Вселенной, которое в целом сохраняется для текущего её состояния. Кроме этого используется предположение о её сферической симметрии, что допустимо с точки зрения большей части космологических моделей. На основании гипотезы о равенстве полной энергии покоя тела и полной гравитационной энергии его взаимодействия с остальными телами Мегамира предлагается к рассмотрению масштабный фактор, связывающий массу и радиус Вселенной. На основании его применения последовательно оцениваются некоторые общие параметры Вселенной. При этом полученные оценки её массы, количества звёзд и галактик в ней, а также средней плотности вещества во Вселенной вполне согласуются с результатами космологических исследований, выполненных путём анализа наблюдательных данных и с гипотезой «больших чисел Дирака». Предлагаются некоторые пути практического применения полученных результатов.

Ключевые слова: масса инертная, инерция, масса гравитационная, космологические свойства Вселенной, масштабный фактор, масса Вселенной, средняя плотность вещества, число галактик, тёмная материя, гипотеза больших чисел Дирака.

A.A. Solodovnik, P.I. Leontiev, B.M. Useinov*

M. Kozybayev North Kazakhstan university, Kazakhstan, Petropavlovsk
*e-mail: buseinov@gmail.com

Estimation of the Universe parameters based on the relation of inert and gravitational masses

The question of the physical relationship between the concepts of inert and gravitational masses is considered. The lack of a consensus on the way to solve it is shown. Based on the assumption about the nature of the inert mass, as a result of the interaction of the selected body with all objects of the Universe, some general physical characteristics of the Metagalaxy are consistently evaluated within the framework of standard ideas about its properties. At the same time, in accordance with the basic provisions of modern cosmology, the idea of a uniform distribution of matter in the early universe is applied, which is generally preserved for its current state. In addition, the assumption of its spherical symmetry is used, which is acceptable from the point of view of most cosmological models. On the basis of the hypothesis of equality of the total rest energy of the body and the total gravitational energy of its interaction with the rest of the bodies of the Metagalaxy, a scale factor connecting the mass and radius of the Universe is proposed for consideration. Based on its application, some general parameters of the universe are consistently estimated. At the same time, the obtained estimates of its mass, the number of stars and galaxies in it, as well as the average density of matter in the universe are quite consistent with the results of cosmological studies performed by analyzing observational data and with the hypothesis of "large Dirac numbers". Some ways of practical application of the obtained results are suggested.

Key words: inertial mass, inertia, gravitational mass, cosmological properties of the Universe, scale factor, mass of the Universe, average density of matter, number of galaxies, dark matter, Dirac's large-number hypothesis.

А.А. Солодовник, П.И. Леонтьев, Б.М. Усеинов*

М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Қазақстан, Петропавл қ.

*e-mail: buseinov@gmail.com

Инертті және гравитациялық массалардың байланысы негізінде Ғаламның параметрлерін бағалау

Инертті және гравитациялық массалар ұғымдарының физикалық өзара байланысы туралы мәселе қарастырылады. Ол мәселені шешу жолы туралы бірыңғай пікірдің жоқтығы көрсетілген. Бөлінген дененің Ғаламның барлық объектілерімен өзара әрекеттесуінің нәтижесі ретінде инертті массаның табиғаты туралы болжамға сүйене отырып, Мегамирдің кейбір жалпы физикалық сипаттамалары оның қасиеттері туралы стандартты идеялар аясында дәйекті түрде бағаланады. Сонымен қатар, қазіргі космологияның негізгі ережелеріне сәйкес, ерте Ғаламда материяның біркелкі таралу идеясы қолданылады, ол тұтастай алғанда оның қазіргі жағдайы үшін сақталады. Бұдан басқа, космологиялық модельдердің көпшілігі тұрғысынан қолайлы болатын оның сфералық симметриясы туралы болжам қолданылады. Дененің толық тыныштық энергиясының және оның Мегамирдің басқа денелерімен әрекеттесуінің толық гравитациялық энергиясының теңдігі туралы гипотезаға сүйене отырып, Ғаламның массасы мен радиусын байланыстыратын масштабты факторды қарастыру ұсынылады. Оны қолдану негізінде ғаламның кейбір жалпы параметрлері дәйекті түрде бағаланады. Сонымен қатар, оның массасын, ондағы жұлдыздар мен галактикалар санын, сондай-ақ Ғаламдағы заттардың орташа тығыздығын бағалау бақылау деректерін талдау арқылы жасалған космологиялық зерттеулердің нәтижелеріне және «Дирактың үлкен сандар» гипотезасына толық сәйкес келеді. Нәтижелерді практикалық қолданудың кейбір жолдары ұсынылады.

Түйін сөздер: инертті масса, инерция, гравитациялық масса, Ғаламның космологиялық қасиеттері, масштабты фактор, Ғаламның массасы, заттың орташа тығыздығы, галактикалар саны, қараңғы материя, Дирактың үлкен сандар гипотезасы.

Введение

Физическая природа массы всегда привлекала внимание исследователей и по этой причине рассмотрена в значительном числе научных работ. Как известно, постулат эквивалентности гравитационной и инертной масс лежит в основе общей теории относительности. Экспериментально это положение проверено и подтверждено в ряде фундаментальных работ, выполненных как на масштабах микрообъектов, так и в области тел космических масштабов. При этом достигнута очень высокая точность результата (вплоть до 10^{-14}) [1-4], однако, проблема выявления природы связи гравитирующей и инертной массы ещё далека от устраивающего всех решения.

Содержательный обзор по проблематике природы инертной массы приводится в одной из недавних работ N.B. Butto Nader [5], где обсуждаются как исторические аспекты этого вопроса, так и новейшие идеи в этой области. В указанной статье приводится также обоснование новой теории, объясняющей механизм проявления инерции как результат действия сопротивления между движущимися телами и статическим вакуумом. При этом последняя субстанция рассматривается как жидкость с

измеримой плотностью, которую способно увлекать любое движущееся тело. Сложность такого подхода состоит в отсутствии единства взглядов представителей физической науки на природу вакуума. Теория, которую рассматривает автор, базируется на представлениях о вакууме как «океане» виртуальных квантовых частиц, восходящих к работам Дирака [6]. При этом «сопротивление» движению материальных тел возникает как результат взаимодействия заряженных частиц «нашего» мира с виртуальными частицами вакуума. Подход автора в определённой мере напоминает теорию увлечения эфира и, конечно же, не может не вызывать ряда вопросов.

Альтернативой такому подходу, согласно мнению ряда авторов [7-9], является трактовка феномена инертной массы (по крайней мере, её численного значения) как результат гравитационного взаимодействия любого тела или частицы со всей Вселенной (всеми составляющими её телами и их системами). Такой подход в наиболее полной форме излагается в физике в рамках известного принципа Маха [9, 10]. В самом деле, любому физическому телу, и до очевидности понятно условие равновесия некоторого выделенного тела. Что же тогда есть изменение этого состояния – появление ускорения –

как не нарушение равновесного состояния тела, взаимодействующего со всеми объектами Вселенной. Соответствующие силы противодействия, возникающие при этом, могут восприниматься как инертность тела. Качественной иллюстрацией такой трактовки инерции могут служить силы поверхностного натяжения, только в нашем случае под поверхностью следует скорее понимать некоторое текущее состояние Вселенной во времени. При этом внешнее воздействие, стремящееся изменить положение тела относительно такой гипотетической поверхности, естественным образом предполагает затрату энергии в противовес действию вселенской системы в целом, направленному на сохранение равновесного состояния рассматриваемого объекта. Рассмотрим некоторые любопытные свойства и следствия, которые можно получить, базируясь на таком представлении о природе инертности (и массы) тела.

Методика исследования

Исходя из общих соображений, можно принять за физически справедливый такой подход, что эйнштейновская полная энергия покоя тела может быть увязана с полной гравитационной энергией его взаимодействия со всеми остальными телами Вселенной. Её можно представить для оценочных вычислений в максимально простом виде:

$$m_0 \cdot c^2 = G \frac{m_0 \cdot M}{R}, \quad (1)$$

где m_0 – масса покоя тела, M и R – масса и радиус Вселенной.

Разумеется, такой упрощённый подход не может не вызывать вопросы. Нам представляется, что основой для применения подобного взгляда можно полагать один неоспоримый научный факт и одно довольно распространённое представление о свойствах Вселенной.

Первое, это высокая степень изотропности реликтового излучения, что космология связывает с равномерностью распределения массы во Вселенной даже на самых ранних стадиях её эволюции, а на масштабах Метагалактики и в настоящее время [11, 12].

Второе и самое сложное представление касается формы Вселенной, о которой у нас нет никаких надёжных сведений. В современных работах по космологии дискуссии на эту тему в самом разгаре, причиной тому недостаток

наблюдательных данных. Близко к теме о форме Вселенной (справедливее говорить пока о Метагалактике) звучит вопрос о её геометрии. И здесь часто встречается термин «плоская Вселенная». При этом речь идёт о траектории световых лучей на сравнительно небольшом по сравнению с размером Вселенной расстоянии. В том случае если речь идёт о конечной по размерам Вселенной, то и «плоская Вселенная» имеет форму тороида или бутылки Клейна для воображаемого внешнего наблюдателя. Тем не менее, до тех пор, пока наши наблюдения ограничены только частью целого, мы не можем определить глобальную геометрию целого посредством измерений.

Кроме того, говорить о форме Вселенной в определённый момент времени достаточно наивно с точки зрения современных теорий гравитации. Единственной опорой единому координатно-временному базису может быть только реликтовое излучение. В этом плане достаточно наглядна модель Милна [10], в которой для любого заданного момента $t > 0$ координатного времени (при условии, что у Большого взрыва $t = 0$) вся Вселенная ограничена сферой с радиусом равным произведению скорости света на возраст Вселенной. То есть модель расширяющейся Вселенной вполне можно представить широко распространённой иллюстрацией в виде расширяющейся сферической оболочки. Определённый интерес в этой связи представляет работа, посвящённая анализу данных миссии «Планк» в которой сделан вывод о возможной положительной кривизне и замкнутости Вселенной в отличие о плоской геометрии [12]. Таким образом, не будет большим противоречием принять в качестве упрощённой модели представление о сферичности Вселенной или, по крайней мере, Метагалактики. Если принять её в качестве рабочей модели, то формула (1) приобретает достаточную для дальнейших рассуждений обоснованность [14].

Исходя из изложенного выше, нетрудно обосновать предложение о наличии некоего масштабного фактора, описывающего наш Мегамир и определяемого соотношением фундаментальных констант:

$$\frac{M}{R} = \frac{c^2}{G} = 1,35 \cdot 10^{27} \frac{\text{кг}^2}{\text{м}}. \quad (2)$$

Эта величина имеет, скорее всего, универсальный физический характер, а, кроме того,

как будет показано далее, обладает и предсказательным потенциалом. Для иллюстрации этого тезиса можно воспользоваться справочными данными об основных космологических параметрах. К их числу следует отнести оценочный радиус Метагалактики, её массу, среднюю плотность вещества, количество звёзд и галактик. Наиболее точные значения первого параметра получены путём применения закона Хаббла к определению расстояний до объектов с предельно большим красным смещением. Однако, нельзя быть уверенными в том, что современным телескопам доступны объекты, образно говоря, находящиеся «на краю Вселенной».

Поэтому оценку размеров Вселенной вполне оправдано связать с её возрастом.

Масса барионного вещества во Вселенной оценивается в фотометрических исследованиях галактик в рамках заданной функции светимости звёзд и галактик. Оценки количество тёмной материи во Вселенной достигнуты применением методов звёздной динамики, распространённых на отдельные галактики и их системы, вплоть до скоплений галактик. При этом остальные из названных выше параметров являются производными результатами исследований в области внегалактической астрономии.

Таблица 1 – Важнейшие космологические параметры Вселенной

Параметр	Численное значение	Ссылки
Расстояние до самых далеких объектов	12,5 – 13,4 млрд. св. лет	14, 15
Возраст Вселенной	13,7 – 13,8 млрд. св. лет	14, 15
Масса Вселенной	$\sim 10^{53}$ кг	14, 15, 20, 21
Количество звёзд во Вселенной	$\sim 10^{22} - 10^{24}$	15, 16, 19, 21
Количество галактик во Вселенной	$\sim 10^{11} - 10^{12}$	15, 20
Средняя плотность Вещества во Вселенной	$\sim 10^{-28}$ кг/м ³	14, 15, 20, 21
Критическая плотность вещество во Вселенной	$9,31 \cdot 10^{-27}$ кг/м ³	14, 15, 20, 21

Тогда, задаваясь значением радиуса Вселенной, который согласуется и с её возрастом (примерно 13,7 млрд. световых лет [16-18]), можно оценить массу Вселенной. Следуя формуле (2), она составит около $1,75 \cdot 10^{53}$ кг. Если выразить эту величину в массах Солнца, то оценочное количество звёзд во Вселенной составит примерно $8,8 \cdot 10^{22}$. Отсюда можно оценить и общее количество галактик во Вселенной, полагая, что в средней галактике содержится около 100 миллиардов звёзд [17]. Скорее эта величина несколько завышена с учётом большого числа карликовых галактик, но в данном случае интересен сам результат, который можно сопоставить с имеющимися космологическими данными.

В итоге получим, что Вселенная может содержать около 10^{12} галактик, что в целом близко к имеющимся в настоящее время оценкам ($10^{11} - 10^{12}$ [17]). Однако, учитывая, что преобладающий вклад в гравитирующую массу Вселенной имеет не вещество, а тёмная материя (не касаясь рассмотрения её природы), в соотношении примерно от 1:5 до 1:6 [19 -21], что отражено на рисунке 1, придётся снизить

оценочную величину числа галактик до единиц сотен миллиардов.



Рисунок 1 – Оценочное соотношение известных и гипотетических видов материи во Вселенной

Базируясь на самых общих соображениях, можно попытаться примерно оценить и некоторые другие параметры Вселенной. Так, полагая равенство (с точностью до множителя порядка единиц) энергии вращения Вселенной и её гравитационной энергии (что не противоречит общим физическим соображениям – теореме о вириале [22]), имеем

$$\frac{MR^2\omega^2}{2} = G\frac{M^2}{R}, \quad (3)$$

отсюда

$$\omega = \sqrt{\frac{2GM}{R^3}}. \quad (4)$$

Подставляя указанные выше оценочные значения массы Вселенной и данные о её радиусе Вселенной в полученную формулу угловой скорости вращения Вселенной, получим, что она не может быть более, чем $\omega \sim 2,4 \cdot 10^{-18}$ рад/с. При этом возможный период её вращения составит не менее 83 миллиардов лет. Заметим, что в рамках представления об увлечении физического вакуума (в который может быть погружена наблюдаемая Вселенная) движущимися телами, сама постановка вопроса о наличии вращения Вселенной лишена смысла.

Обсуждение

Нельзя обойти вниманием и такой важнейший космологический параметр как величина средней плотности $\langle \rho \rangle$ Вселенной. В рамках допущенных предположений она составит примерно $2,23 \cdot 10^{-29}$ кг/м³. Эта величина оказывается очень близкой к оценкам средней плотности барионного вещества во Вселенной, полученным по астрофизическим данным [23]. В то же время в полученную оценку плотности наряду с обычным барионным веществом (звёзды и газ) включена и тёмная материя. При этом средняя плотность остаётся существенно ниже её критического значения для Вселенной [24]. То есть, в рамках изложенного предположения можно говорить о Вселенной открытого типа, которой предстоит в будущем неограниченно расширяться. Таким образом, в целом можно

констатировать неплохое соответствие полученных оценок современным данным космологических исследований.

Ещё один интересный аспект рассматриваемого подхода имеет онтологический характер. Так если выразить массу Вселенной через массу протона, то получится число порядка 10^{80} , то есть величина удивительно близкая ко второй степени «большого числа» Дирака [25]. Разумеется, такой результат нельзя рассматривать как некое доказательство справедливости рассматриваемого предположения. Но этот результат в определённой мере гармонизирует цепочку изложенных выше рассуждений.

Выводы

Подводя итоги изложенного, можно констатировать, что высказанное в нашей работе предположение и полученные на его основе оценочные результаты в определенной степени снимают проблему соотношения гравитирующей и инертной массы. Явление инерции становится лишь следствием общего взаимодействия рассматриваемого тела известной массы со всеми объектами Вселенной (главным образом с тёмной материей), то есть следствием его физически равновесного состояния. В этом свете немногочисленные примеры практически безынерционного движения (типа манёвров летающих объектов неизвестной природы), избегая обсуждения степени их достоверности, в перспективе можно объяснить с позиций временной несвязанности таких объектов с другими телами Вселенной.

Не исключено, что предложенный в работе масштабный фактор (2) в дальнейшем получит более полное физическое истолкование и приращение.

Литература

- 1 Schlamminger S., Choi K.-Y., Wagner T. A., Gundlach J. H., and Adelberger E. G. Test of the Equivalence Principle Using a Rotating Torsion Balance // *Phys. Rev. Lett.* – 2008. – Vol.100, Iss. 4. – Art.No 041101.
- 2 Турышев С.Г. Экспериментальные проверки общей теории относительности: недавние успехи и будущие направления исследований // *УФН.* – 2009. – Т.179, № 1. – С.3-34.
- 3 Touboul P. et al. The MICROSCOPE mission: first results of a space test of the Equivalence Principle // *Phys. Rev. Lett.* – 2017. – Vol. 119, Iss. 23. – Art.No 231101.
- 4 Окунь Л.Б., Понятие массы // *Успехи физических наук.* – 1989. – Т.158, вып. 3. – С.511-530.
- 5 Petah-Tikva N.B. The Nature and Origin of Inertia // *Journal of High Energy Physics, Gravitation and Cosmology.* – 2021. – Vol.7 No.2.
- 6 Maurice Dirac, P.A. A Theory of Electrons and Protons. Proceedings of the Royal Society of London, Series A. – 1930. – Vol.126. – P.360-365.
- 7 Raine D.F. Mach's principle in general relativity // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.* – 1975. – Vol.171, Iss.3. – P.507-528.

- 8 Sciama D.W. On the origin of inertia //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 1953. – Vol.113, Iss.1. – P.34-42.
- 9 Владимиров Ю.С., Бабенко И.А. Принцип Маха //Метафизика. – 2016. – № 3 (21). – С.86-99.
- 10 Raine D.J. Mach's Principle in General Relativity //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 1975. – Vol.171, Iss3. – P.507-528.
- 11 Насельский П.Д., Новиков Д.И., Новиков И.Д. Реликтовое излучение Вселенной. – М.: Наука, 2003. – 390 с.
- 12 Di Valentino E., Melchiorri A., Silk J. Planck evidence for a closed Universe and a possible crisis for cosmology // Nature Astronomy. – 2020. – Vol.4. – P.196–203.
- 13 Milne E. A. Kinematic Relativity //The Mathematical Gazette. – 1949. –Vol. 33, No. 306. – P.304-306.
- 14 Bonnet-Bidaud J.M. The Diffuse Light of the Universe – On the Microwave Background Before and After Its Discovery: Open Questions // Foundations of Physics. – 2017. – URL: <https://arxiv.org/abs/1701.01017>.
- 15 Ландау Л. ., Лифшиц Е.М. Теория поля. – М.: Физматлит, 2006. – 534 с.
- 16 Сильченко О.К. Происхождение и эволюция галактик / ред. В. Г. Сурдин. — Фрязино: Век 2, 2017. – 224 с.
- 17 Галактики /ред.-сост. Сурдин В.Г. – М.: Физматлит, 2013. – 432 с.
- 18 Звёзды /ред.-сост. Сурдин В.Г. – М.: Физматлит, 2013. – 428 с.
- 19 Эйнасто Я., Чернин А. Д. Тёмная материя и тёмная энергия. – М.: Век-2, 2018. – 176 с.
- 20 Bertone G., Tait T. M. P. A new era in the search for dark matter // Nature. – 2018. – Vol. 562. – P.51-56.
- 21 Christopher J. Conselice, Aaron Wilkinson, Kenneth Duncan, Alice Mortlock. The Evolution of Galaxy Number Density at $z < 8$ and its Implications // Astrophysics. Astrophysics of Galaxies. – 2016. – URL: <https://arxiv.org/abs/1607.03909>.
- 22 Fedosin, S.G. The virial theorem and the kinetic energy of particles of a macroscopic system in the general field concept // Continuum Mechanics and Thermodynamics: journal. — 2016. — Vol. 29, no. 2. – P.361-371.
- 23 Нагирнер Д.И. Элементы космологии: Учебное пособие. – СПб.: Изд-во С.-Пб. ун-та, 2001. – 55 с.
- 24 Засов А.В., Постнов К.А. Общая астрофизика. – Фрязино: Век 2, 2016. – 576 с.
- 25 Unzicker A.A. Look at the Abandoned Contributions to Cosmology of Dirac, Sciama and Dicke // Annalen der Physik. – 2009. – Vol. 18. – № 1. – P.57-70.

References

- 1 S. Schlamminger, K.-Y. Choi, T.A. Wagner, J.H. Gundlach, and E.G. Adelberger, Phys. Rev. Lett., 100 (4), 041101 (2008).
- 2 S.G. Turyshev, UFN, 179 (1), 3-34 (2009). (in Russ).
- 3 Pierre Touboul et al., Phys. Rev. Lett., 119 (23), 231101 (2017).
- 4 L.B. Okun, UFN, 158 (3), 511-530 (1989). (in Russ).
- 5 N. Butto, Journal of High Energy Physics, Gravitation and Cosmology, 7 (2), 761-772 (2021).
- 6 P.A.M. Dirac, Proceedings of the Royal Society of London, Series A, 126 (801), 360-365. (1930). <https://doi.org/10.1098/rspa.1930.0013>.
- 7 D.F. Raine, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 171 (3), 507-528 (1975).
- 8 D.W. Sciama, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 113 (1), 34-42 (1953).
- 9 Yu.S. Vladimirov, I.A. Babenko, Metaphysics, 3 (21), 86-99 (2016).
- 10 D.J. Raine, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 171 (3), 507-528 (1975).
- 11 P.D. Naselsky, D.I. Novikov, I.D. Novikov, Relic radiation of the Universe, (Moscow, Nauka, 2003), 390 p. (in Russ).
- 12 E. Di Valentino, A. Melchiorri, J. Silk, Nature Astronomy, 4, 196-203 (2020).
- 13 E.A. Milne, The Mathematical Gazette, 33 (306), 304-306 (1949).
- 14 J.M. Bonnet-Bidaud, Foundations of Physics, (2017). <https://arxiv.org/abs/1701.01017>.
- 15 L.D. Landau, E.M. Lifshits, Field theory, (Moscow, Fizmatlit, 2006), 534 p. (in Russ).
- 16 O.K. Silchenko, Origin and evolution of galaxies, Ed. V.G. Surdin, (Fryazino, Century 2, 2017), 224 p. (in Russ).
- 17 Galaxies, Ed.-comp. V.G. Surdin, (Moscow, Fizmatlit, 2013), 432 p. (in Russ).
- 18 Stars, Ed.-comp. V.G. Surdin, (Moscow, Fizmatlit, 2013), 428 p. (in Russ).
- 19 Ya. Einasto, A.D. Chernin, Dark matter and dark energy, (Moscow, Vek-2, 2018), 176 p. (in Russ).
- 20 G. Bertone, T.M.P. Tait, Nature, 562, 51-56 (2018).
- 21 C.J. Conselice, A. Wilkinson, K. Duncan, A. Mortlock, Astrophysics. Astrophysics of Galaxies, 2016. <https://arxiv.org/abs/1607.03909>.
- 22 S.G. Fedosin, Continuum Mechanics and Thermodynamics, 29 (2), 361-371 (2016).
- 23 D.I. Nagirner, Elements of Cosmology: A textbook, (St. Petersburg, Publishing House of S.-Pb. University, 2001), 55 p. (in Russ).
- 24 A.V. Zasov, K.A. Postnov, General astrophysics, (Fryazino, Century 2, 2016), 576 p. (in Russ).
- 25 A.A. Unzicker, Annalen der Physik, 18 (1), 57-70 (2009).