

ГРАВИТАЦИЯ, КОСМОЛОГИЯ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПОЛЯ

УДК 53.01, 53.02

© Аристов В. В., 2020

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ТЕМНОЙ МАТЕРИИ В КОНЦЕПЦИИ РЕЛЯЦИОННОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ

Аристов В. В.^{a,1}

^a Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, г. Москва, 119333, Россия.

Теоретический аппарат вводимого реляционно-статистического пространства-времени позволяет описывать не только известные явления, но также и предлагать интерпретацию некоторых эффектов, требующих объяснения. Понятие темной материи занимает важное место в теории гравитации. Различные современные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что темная материя не является субстанцией, образованной из неизвестных частиц. Поэтому физическая теория нуждается в дополнении и уточнении для описания и таких явлений. Развиваемый вариант концепции реляционного статистического пространства-времени строится на основе теоретической модели фундаментальных приборов – часов и линеек и позволяет подойти к описанию понятия темной материи при рассмотрении закономерностей на космологических масштабах. Обсуждается получение выражения для классической теории гравитации из статистических принципов. Даются основные представления об обобщенном принципе Маха. Проясняется смысл так называемых космологических совпадений, впервые обнаруженных Вейлем. Показывается, как может быть интерпретировано проявление темной материи в рамках ньютоновского приближения теории гравитации. Приводимые оценки демонстрируют, что отношение (темная масса+видимая масса)/(видимая масса) соответствует опытным данным.

Ключевые слова: пространство, время, реляционная статистическая концепция, гравитационное взаимодействие, темная материя.

THEORETICAL INTERPRETATION OF DARK MATTER IN CONCEPT OF RELATIONAL STATISTICAL SPACETIME

Aristov V. V.^{a,1}

^a Federal research center “Computing science and Control” of Russian Academy of Sciences, Moscow, 119333, Russia.

Relational statistical spacetime, as a certain theoretical apparatus, allows one to describe various known phenomena, but also to offer an interpretation of some effects that require their explanation. The concept of dark matter occupies an important place in the theory of gravity. With numerous references to modern literature, the conviction is expressed that dark matter is not a substance formed from unknown particles. Therefore, the physical theory needs to be supplemented and clarified so that such phenomena can be described. The developed version of the concept of relational statistical spacetime is constructed on the basis of a theoretical model of fundamental instruments - clocks and rulers and allows one to approach the description of the concept of dark matter when considering regularities on cosmological scales. It is shown how the basic equations of the classical theory of gravitation are derived. Basic concepts of the generalized Mach principle are given. Within the framework of this approach, the meaning of the well-known cosmological coincidences, first discovered by Weil,

¹E-mail: aristovv1@yandex.ru

is clarified. From statistical principles, it is shown how the manifestation of dark matter can be interpreted in the framework of the Newtonian approximation of the theory of gravitation. These estimates demonstrate that the ratio (dark mass + visible mass) / (visible mass) corresponds to the experimental data.

Keywords: spacetime, relational statistical concept, gravitation, dark matter.

PACS: 04.60.-m, 03.65.Ca, 03.65.Fd, 03.65.Ta

DOI: 10.17238/issn2226-8812.2020.3.4-14

Введение

При построении новой модели пространства-времени преодолевается рассогласование физического и математического аппарата квантовой механики и ОТО, что означает разработку теории для различных физических масштабов. На основе реляционной статистической модели пространства-времени в [1, 2] удастся описывать динамику и кинематику с квантовыми проявлениями, а также воспроизводить гравитационные эффекты. Это потребовало введения новых представлений с рассмотрением специальных сумм по всем частицам (элементам) мира, что сопоставимо с обобщенным принципом Маха. Надо распространить эти представления на космологические масштабы, принимая во внимание потенциальные трудности ОТО в описании явлений для таких больших расстояний. Важная нынешняя проблема состоит в интерпретации темной материи и темной энергии.

Вопрос о смысле темной материи (ТМ) является одним из центральных для современной теории гравитации, общей теории относительности, космологии, поскольку с этим связаны многие следствия, важные и в практическом плане. Представления о темной материи складывались постепенно. Первые гипотезы появились в 20-х годах XX века. Астрономы Джинс и Каптейн вычисляли плотность материи вблизи солнца, они также находили плотность всех звезд около плоскости Галактики. Джинс предсказал наличие двух темных звезд вблизи каждой видимой звезды, Оорт дополнил эти данные своими оценками. Позже были сделаны уверенные предсказания Цвикки в 30-х годах. В дальнейшем отчетливо наблюдалось рассогласование характера вращения звезд в спиральных галактиках с описанием по классической теории гравитации (Бэбкок). В 60-е годы в особенности усилиями В. Рубин получены оценки, близкие к современным. Сейчас о существовании ТМ и ее величине, составляющей около 26 % массы-энергии Вселенной, свидетельствует широкий спектр астрономических и космологических наблюдений. Но можно ли решить эту проблему путем поиска и наблюдения новых типов частиц или требуется модифицировать теоретические понятия и уравнения?

Эксперименты последнего десятилетия по прямому обнаружению частиц ТМ, взаимодействующих с обычной материей в наземной цели-детекторе, не дали определенного результата [3–5]. Попытки найти слабо взаимодействующие массивные частицы (WIMP) не увенчались успехом. Например, авторы недавней работы [6] пишут, что при использовании модели сигнала нового канала WIMP-пион, частицы не обнаружены, что задает возможный новый верхний предел сечения взаимодействия.

С современной точки зрения необходимость введения концепции ТМ была вызвана в основном двумя проблемами: 1) наблюдаемыми некеплеровскими кривыми вращения спиральных галактик; 2) наличием дополнительной невидимой массы в скоплениях галактик, приводящей к наблюдаемому гравитационному ограничению кластеров (скоплениях), а также аномально большим гравитационным линзированием, создаваемым кластерами.

Наиболее важной (и исторически первой возникшей) представляется проблема адекватного объяснения неклассического вращения спиральных галактик. Среди различных экспериментальных результатов выделим некоторые, где приведены свидетельства в пользу альтернативы к по-

иску неизвестных частиц скрытой темной материи. Например, в [7] сравниваются радиальные ускорения спиральных галактик: наблюдаемое, а также вычисленное по барионным массам. Наблюдаемое радиальное ускорение находится, исходя из видимой скорости звезд и расстояния до них от центра галактики. Соответственно ускорение с учетом только барионной материи можно найти, если вычислить гравитационные потенциалы с учетом плотности барионной материи из уравнения Пуассона. Затем определяется радиальное ускорение. При сопоставлении данных для большого числа галактик (153 галактики, 2693 экспериментальные точки) обнаружена существенная корреляция ускорений. Функция такой зависимости имеет вид

$$g_{obs} = F(g_{bar}) = \frac{g_{bar}}{1 - \exp(-\sqrt{g_{bar}/g_+})}.$$

Здесь g_{obs} — наблюдаемое ускорение, g_{bar} — ускорение, вычисленное по барионным массам, g_+ — соответствующий нормировочный параметр, имеющий размерность ускорения. Данная зависимость показывает соотношенность барионной и темной масс, поскольку наблюдаемое ускорение складывается из ускорений, связанных с темной и барионной материей. Поэтому можно предположить, что все определяется барионной материей. Полученное соотношение (описывающее наблюдаемую некеплеровскую зависимость вращения галактик) авторы в силу важности полученных результатов даже сравнивают с закономерностями, отраженными в кеплеровских законах.

В последнее время был достигнут ощутимый прогресс в обнаружении «потерянной массы» в кластерах (скоплениях), см. [8]. Авторы этой работы утверждают, что недостающие барионы находятся в крупномасштабных нитях (волокнах) в форме умеренно-горячей межгалактической среды. Наличие дополнительной массы в скоплениях галактик не подтверждается. В работе [9] при обработке изображения линзирования было показано, что пренебрежение рассеянным сигналом приводит к значительному завышению значения линзирующей массы.

Можно также отметить, что недавно были представлены кривые вращения галактик с сильным красным смещением и было ясно показано, что большая часть таких массивных галактик на самом деле является существенно барионными [10].

Поскольку концепция ТМ как субстанции неизвестных частиц подвергнута серьезному сомнению, то поиск новой теории представляется не только возможным, но и правильным направлением исследований. Но и независимо от экспериментальных данных само развитие теоретических представлений способно привести к такому же выводу. Один из способов разрешения проблемы с темной материей видится в изменении описания гравитации с помощью модифицированной ньютоновской динамики (MOND) [11]. Но все варианты MOND являются по сути эмпирическими теориями. В реляционных подходах Ю.С. Владимирова [12] (и нашем [13], где были получены первоначальные результаты) делается попытка описывать эффекты, связанные с темной материей, исходя из свойств пространства и времени. В предположении об изменении величины эффективного расстояния на больших масштабах удается объяснить ряд явлений.

Мы будем обсуждать здесь возможность теоретической интерпретации темной материи в рамках нашего реляционного статистического подхода.

1. Модель реляционного статистического пространства-времени

Данная модель описана в различных публикациях, в частности в [1, 14–19], поэтому мы очень кратко представим ее основные положения и соотношения. Первое конструктивное предположение заключается в том, что в реляционной статистической модели пространства расстояние определяется конфигурацией масс в рассматриваемой системе элементов. Дискретная структура физического пространства прямо сопоставляется (на атомарных масштабах) с дискретной структурой материи, поскольку эталоны — измерительные масштабные линейки состоят из атомов. Такая эталонная дискретная среда симметрично расположенных относительно друг друга элементов (атомов) задает модель измерительных масштабов, с которыми сопоставляется набор элементов изучаемой

системы. Тем самым находится расстояние, отнесенное к заданному масштабу. Для расстояния между двумя элементами А и В по путям в дискретной среде (которую можно репрезентировать моделью соответствующего графа) между ними можно записать

$$r_{AB} = \frac{b}{N_1} \sum_{i=1}^{N_1} m_{i(AB)}.$$

Здесь N_1 — число прямых между двумя заданными элементами (в терминах теории графов — прямую можно определить как маршрут с минимальным количеством вершин). Величина $m_{i(AB)}$ соответствует i -ой прямой с суммарной массой (количеством элементов) на этом пути, равной m — все такие прямые имеют одинаковую длину. Сравнивая единицы расстояния и массы в операциональном подходе при определении пространства, мы конструируем модель безразмерного описания «масса-пространство». Статистический реляционный подход подразумевает, что непрерывная евклидова геометрия является некоторым пределом более общей дискретной геометрии, возникающей из простых геометрических образов. В такой статистической дискретной геометрии присутствует суммирование (осреднение) с использованием макроскопических инструментов для пространственных измерений. Можно также записать для приращения соответствующих масс и расстояния

$$dr = \frac{b}{N_1} \sum_{i=1}^{N_1} dm_i.$$

Множественность «прямых» (кратчайших маршрутов между двумя точками) характерна для малых масштабов, что и приводит к индетерминизму квантовой механики. На существенно больших расстояниях, как указано, возникает образ единственной прямой, поэтому для макроскопических масштабов можно записать

$$dr = bdm.$$

Здесь расстояние может измеряться массой с соответствующим пересчетом в единицы обычной длины. Также и для неинфинитезимальных расстояний, которые будут фигурировать, например, в величинах ньютоновского потенциала, можно записать

$$r = bm.$$

Связь между массой и расстоянием (длиной) линейная, поскольку может быть реализована на простом графе, соответствующем набору частиц в дискретной среде идеального прибора — измерительной линейки. В такой модели есть минимальное расстояние, ассоциируемое с одной частицей. Так что можно записать:

$$r_e = bm_e,$$

где r_e — величина частицы (атома, электрона), m_e — масса атома, и размерный множитель b выражается через фундаментальные константы при рассмотрении соответствия данной модели с соотношениями квантовой механики:

$$b = \hbar/(m_e^2 c),$$

где \hbar — постоянная Планка.

Время вводится при уже построенном пространстве. Поэтому второе конструктивное предположение заключается в возможной измерительной связи времени и пространства. Задается «идеальный фотоаппарат», позволяющий получать «фотографии» всех частиц. Конструируется система отсчета с декартовой системой координат. Определяются радиусы-векторы всех частиц по

«фотографиям» и находится точка в соответствующем конфигурационном пространстве, определяющая момент времени

$$R = \{r_1, \dots, r_N\},$$

где N — число частиц (элементов) в системе.

По изменениям моментов времени

$$dR = \{dr_1, \dots, dr_N\},$$

вводится приращение времени, определяемого как среднеквадратичное от изменения всех пространственных координат в «фотографиях», соответствующих различным моментам времени:

$$d\tau^2 = \frac{a^2}{N} \sum_{i=1}^N (dr_i - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N dr_j)^2.$$

Множитель $a = 1/c$, где c — скорость света, определяет связь между величинами размерности пространства и времени.

В предлагаемом реляционном подходе, как показано ранее в [1, 2, 19], метрика пространства-времени зависит от распределения частиц. При «сгущении» в массивных телах по сравнению с фоновыми значениями измерительной среды происходит искривление траектории частиц. В частности, воспроизводятся эффекты линзирования.

2. Получение выражения для гравитационного потенциала в модели и связь с космологическими совпадениями

В нашем подходе фактически выводится гравитационный потенциал, что напрямую связано с тем, что изменение распределения масс соотносится и с изменением расстояния. Вид гравитационного потенциала с обратной пропорциональностью расстоянию от гравитирующего тела до рассматриваемого связан с характером измерения расстояния с помощью масштабной линейки, при котором длина оказывается пропорциональной массе. Так что отношение массы к расстоянию — безразмерная величина. Вывод выражения для потенциала основан, по сути, на математических закономерностях и соответствующих связях в моделях физических приборов.

Вид традиционного гравитационного потенциала может быть получен при сопоставлении двух сумм безразмерных величин, см. [18, 19]. Предполагаемая величина ньютоновского потенциала представляет собой сумму отношений масс тел к расстояниям до них от пробного тела (учитывая измерительную эквивалентность расстояния и массы). Она сравнивается в согласии с суммой нормированных на квадрат скорости света квадратов скоростей частиц, образующих массивное тело. Эта сумма отвечает за замедление времени по сравнению с временем, определяемым при равномерном распределении частиц в некотором статистическом выражении. В пределе такая сумма выражает отношение квадратов скоростей к квадрату скорости света для всех элементов мира. Члены в ней порядка единицы, поскольку проводится нормировка на квадрат скорости света (в принятом способе определения скорости по фотографиям, определяемым в точке наблюдателя, средняя скорость равна скорости света). Сопоставление таких безразмерных сумм и приводит к известной форме гравитационного ньютоновского потенциала.

Поясним приведенные выше краткие утверждения количественными соотношениями. Все члены суммы будут представлять собой безразмерные величины, образованные отношением массы элемента к расстоянию от точки наблюдения, выраженную тоже в единицах массы. Данную сумму в согласии с законом больших чисел можно сопоставить с упомянутой выше суммой безразмерных нормированных квадратов скоростей. С простыми допущениями теории вероятностей получаем, что относительные отличия двух указанных сумм составляют статистическую величину, равную

$(N)^{-1/2}$, где N — число фундаментальных, элементарных частиц в мире. Часто эту величину полагают равной числу Эддингтона $N = 10^{80}$. В данной глобальной сумме фигурирует отношений масс объектов к расстоянию до пробного (1-го) тела. Причем для шара при равномерном распределении частиц основной вклад в такую сумму будут вносить элементы, сосредоточенные вблизи сферы порядка радиуса Метагалактики (мира) R , более точные оценки должны дать некоторую эффективную часть радиуса. Поэтому можно записать

$$r_{1i} \sim R.$$

Множитель A связывает величину радиуса мира с характерной микроскопической величиной, например, размерами атома (радиусом электрона):

$$R = Ar_e. \quad (1)$$

Учитывая указанную связь между расстоянием и массой с помощью множителя b , получаем, что можно вынести в знаменателе комплекс Ab :

$$r_{1i} = Abm_{1i}. \quad (2)$$

Тогда для искомой суммы гравитационного потенциала с учетом (1) и (2) имеем

$$\phi_{gr.N} = -G \sum_{i=2}^N \frac{m_e}{r_{1i}} = -G \sum_{i=2}^N \frac{m_e}{Abm_{1i}} = -\frac{G}{Ab} \sum_{i=2}^N \frac{m_e}{m_{1i}}. \quad (3)$$

Вывод гравитационного потенциала опирается на соотношения теории вероятностей, где сравниваются суммы безразмерных случайных величин порядка единицы

$$-\frac{1}{N} \sum_{i=2}^N \frac{(u_i - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N u_j)^2}{c^2} = -\frac{1}{N} \sum_{i=2}^N \frac{m_e}{m_{1i}} + O(\frac{1}{\sqrt{N}}).$$

Здесь полагается, что присутствуют случайные величины одного порядка, а именно

$$\frac{1}{c^2} \left(u_i - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N u_j \right)^2 = f_{ui} \sim 1.$$

$$\frac{m_e}{m_{1i}} = f_{mi} \sim 1.$$

Физический смысл в такие математические соотношения вносится с помощью комбинаций мировых констант, что задает размерные физические величины. С учетом вышеприведенного ожидаемого вида потенциала (3), пренебрегая малой вероятностной ошибкой, получаем

$$\frac{1}{N} \sum_{i=2}^N \frac{(u_i - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N u_j)^2}{c^2} = \frac{G}{Abc^2} \sum_{i=2}^N \frac{m_e}{m_{1i}}.$$

Отсюда

$$\frac{G}{Abc^2} = \frac{1}{N}$$

или

$$\frac{GN}{bc^2} = \frac{GNm_e}{c^2r_e} = A. \quad (4)$$

Правильность описания подтверждается выводом из этих выражений так называемых космологических совпадений (впервые отмеченных Вейлем), т. е. соотношений, где связываются величины микро- и макромира. Получение таких известных эмпирических соотношений, исходя из

статистических глобальных космологических выражений, следующих из положений реляционной модели пространства и времени, можно рассматривать как своеобразную манифестацию принципа Маха.

Если сопоставить получающийся множитель перед суммой отношений масс к расстояниям с множителем в выражении для гравитационного ньютоновского потенциала множителем, то выведем первое важное соотношение, которое показывает, что радиус мира близок к гравитационному радиусу Вселенной. Принимая во внимание (1) и (4), получаем

$$R = Ar_e = \frac{GNm_e}{c^2} \approx \frac{2GNm_e}{c^2} = \frac{2GM}{c^2} = R_g.$$

Второе соотношение характеризует отношение радиуса Метагалактики и радиуса электрона. Оно получается, если исходить из условия динамического равновесия любого атома в мире. Для этого требуется, чтобы электрический потенциал, например, электрона соответствовал суммарному при взаимодействии всех остальных протонов и электронов во Вселенной. Сравнивая порядки потенциала одного электрона с суммарным потенциалом всех разноименных зарядов во Вселенной, получаем

$$A = \sqrt{N}.$$

Третье соотношение получается при сопоставлении суммарного воздействия дипольных моментов всех атомарных систем Вселенной с суммарной гравитационной силой Вселенной. Это соотношение показывает связь характерной величины электромагнитного взаимодействия с аналогичной характерной величиной гравитационного взаимодействия

$$\frac{e^2}{Gm_e^2} = \sqrt{N} \sim 10^{40}.$$

3. Важная оценка для интерпретации темной материи

В настоящей работе с помощью подхода для построения реляционного статистического пространства-времени предлагается конструктивная модель, в которой на основе принятого соответствия расстояния и конфигурации масс удастся объяснить галактические проявления темной материи.

Чтобы сопоставление различных членов имело смысл, они должны быть одного порядка. Поэтому рассматриваемая «плотность», т.е. отношение массы к расстоянию должна быть одного порядка в различных физических условиях, отношение массы к расстоянию безразмерно, данную величину можно назвать безразмерной плотностью, (с возможным выделением при необходимости соответствующего размерного множителя, составленного из фундаментальных констант). Надо будет определять значения данной безразмерной плотности при оценке значения темной материи.

Заметим, что реляционный подход к природе пространства-времени и физических взаимодействий, развиваемый в [12], позволяет использовать некоторые соображения Рашевского (и Рвачева). Поскольку пространство имеет вторичный характер по отношению к объектам микромира, может оказаться так, что расстояния между астрофизическими объектами (те, что входят в закон всемирного тяготения и формулу центростремительного ускорения) отличаются от значений, получаемых нами в наблюдениях с Земли. На этом основана предлагаемая в этой работе интерпретация MOND, которую можно условно назвать теорией с «модифицированным расстоянием» (“modified distance”). Причем было получено, что эффективная масса примерно в 6–10 раз больше видимой материи.

В нашем реляционном статистическом методе не делается гипотетических (хотя и продуктивных) предположений об изменении фактических физических длин при возрастании расстояний до космологических масштабов. Мы исходим из анализа измерительных процедур измерения расстояния с учетом структуры линеек. При этом распределение реальных частиц в мире сопоставляется с

предельно однородной структурой распределения атомов в эталонах для определения расстояний. Выражение для гравитационного потенциала получается фактически из математических закономерностей. Такая операциональная эквивалентность между расстоянием и конфигурацией масс, а также между временем и сменой пространственных картин приводит к безразмерным уравнениям, где связь с физическим смыслом осуществляется с помощью соответствующих комбинаций мировых констант. В результате ньютоновский потенциал выводится из данных постулируемых соотношений измерительных эквивалентностей между массой, расстоянием и временем. Величины расстояния, фигурирующие в выражениях для потенциала могут быть сопоставлены с величинами, измеряемыми по заданным эталонам в случае однородного распределения «той же» плотности, что и в данных эталонах масштабных линеек. В случае нарушения однородности реального распределения частиц (появление массивных тел, например планет, звезд, галактик) отличия от однородного распределения в измерительном приборе для расстояния приводит к известным эффектам ОТО. При изменении плотности распределения «частиц» по сравнению с заданным эталоном в масштабной линейке, что определяется предельной возможной плотностью по всем элементам Метагалактики, возникают эффекты, которые можно трактовать, как проявление темной материи, – здесь это следствие самой теоретической модели, а не влияние новых неизвестных частиц. Здесь важно еще раз подчеркнуть, что все определяется отмеченной выше плотностью безразмерного расстояния (или массы).

Можно дать оценку эффективного расстояния для галактики по сравнению с обычным расстоянием, которое присутствует в традиционном вычислении. Но оно оказывается заниженной, что соответствует проявлению темной материи. Число нуклонов, приходящееся на единицу объема для дискретной однородной измерительной среды

$$n_{Mes} = \frac{10^{80}}{(10^{28})^3} = 10^{-4}.$$

Здесь общее количество нуклонов в Метагалактике (число Эддингтона) равно, как уже указывалось, $N = 10^{80}$, радиус Метагалактики согласно известным данным 10^{28} см. Так что размерность приведенной в оценке величины $1/(cm)^3$. Число нуклонов, приходящееся на единицу объема для галактической среды (в Метагалактике $2 \cdot 10^{12}$ галактик), значит

$$n_{Gal} = \frac{10^{80}}{2 \cdot 10^{12}(10^{23})^3} = \frac{1}{2}10^{-1}.$$

Тогда отношение обратных значений эффективного и обычного расстояний, а значит и отношение полной массы, участвующей в гравитационном взаимодействии (барионной + темной) к барионной, равно

$$\frac{n_{Gal}}{n_{Mes}} = \sqrt[3]{\frac{10^{-1}}{2 \cdot 10^{-4}}} = \sqrt[3]{\frac{1000}{2}} = 8.$$

Что соответствует примерно реальному соотношению (с учетом того, что в данной первоначальной оценке фигурируют величины многих порядков).

Таким образом, показано, что величина расстояния, которая должна фигурировать в знаменателе, чтобы суммарный глобальный гравитационный потенциал остался прежним, существенно превышает обычную. Но подставляют именно обычную величину. Поэтому сумма завьшается, что интерпретируют как проявление темной материи.

Заключение

В работе показано, что подход, основанный на построении реляционного статистического пространства-времени, позволяет не только описать квантовые и гравитационные эффекты ОТО,

что было показано ранее, но объяснить и явления, связанные с темной материи. Здесь устанавливается новая связь между массой, временем и пространством. В ОТО искривленность пространства-времени в присутствии тяготеющих масс проявляется как дифференциальное свойство гиперповерхностей на макроскопических (по сравнению с атомарными) масштабах. Такие же свойства определяются и в реляционной статистической модели, но здесь они основаны на операциональной связи между массой и расстоянием. Такая связь позволяет на космологических масштабах описывать эффекты, которые ассоциируются с проявлением темной материи. В настоящей работе пока получена общая оценка, позволяющая найти отношение темной и барионной материи к барионной материи в целом. Такая величина показывает, что с помощью развиваемой реляционной модели пространства-времени можно, в принципе, описывать эффекты, связанные с темной материей. Но, конечно, подробное описание, например, вращение отдельной спиральной галактики требуют более точных конкретных оценок.

Список литературы

1. Аристов В.В. Реляционное статистическое пространство-время и построение единой физической теории. *Пространство, время и фундаментальные взаимодействия*. 2018. № 4(25). С. 4–20.
2. Aristov V.V. Constructing relational statistical spacetime in the theory of gravitation and in quantum mechanics. *Proceedings of the Fourteenth Marcel Grossmann meeting on Recent Developments in Theoretical and Experimental General Relativity, Astrophysics and Relativistic Field Theory*, eds. M. Bianchi, R.T. Jantzen and R. Ruffini. World Scientific. Singapore. 2018. pp. 2671–2676.
3. Agnese R. et al. WIMP-Search Results from the Second CDMSlite Run. *Phys. Rev. Lett.* 2016, 116, pp. 071301. arXiv:1509.02448.
4. Petricca F. et al. First results on low-mass dark matter from the CRESST-III experiment // arXiv:1711.07692.
5. Abea K. et al. A direct dark matter search in XMASS-I. *Physics Letters B*. 2019, 789, pp. 45–53. arXiv:1804.02180.
6. Aprile E. et al. First results on the scalar WIMP–pion coupling, using the XENON1T experiment. *Phys. Rev. Lett.* 2019, 122, pp. 071301. arXiv: 1811.12482v2 [hep-ph] 22 Feb 2019.
7. McGaugh S.S., Lelli F., Schombert J.M. Radial acceleration relation in rotationally Galaxies. *Phys. Rev. Lett.* 2016, 117, pp. 201101. <https://arxiv.org/abs/1609.05917v>
8. Kovács O.E., Bogdán A., Smith R.K., Kraft R.P. and Forman W.R. Detection of the missing baryons toward the sightline of h 1821+643. *accepted for Astrophysical Journal*. 2018. arXiv:1812.04625.
9. Biernaux J., Magain P., and Hauret C. Analysis of luminosity distributions of strong lensing galaxies: subtraction of diffuse lensed signal. *Astronomy & Astrophysics (A&A)*. 2017, 604, pp. A46. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201730907>
10. Genzel R., Schreiber N., Übler H., et al. Strongly baryon-dominated disk galaxies at the peak of galaxy formation ten billion years ago. *Nature*. 2017, 543, pp. 397-401. <https://doi.org/10.1038/nature21685>
11. Milgrom M. A modification of the Newtonian dynamics: implication for galaxies. *Astrophysical Journal*. 1983, 270, pp. 371–383.
12. Владимиров Ю.С., Ромашка М.Ю. Модифицированная ньютоновская динамика (MOND) и ее возможные интерпретации. *Пространство, время и фундаментальные взаимодействия*. 2013. № 1 (2). С. 64–77.
13. Aristov V.V. Relational statistical space-time for cosmological scales and explanation of physical effects. *Theoretical physics and its applications*. Moscow: Moscow State Open University, 2013, pp. 9–14.
14. Аристов В.В. Статистическая модель часов в физической теории. *Докл. РАН*. 1994. Т. 334. С. 161–164.
15. Aristov V.V. Relative statistical model of clocks and physical properties of time. On the way to understanding the time phenomenon: the constructions of time in nature science / A.P. Levich ed. Singapore. World Scientific, 1995, pp. 26–45.
16. Aristov V.V. On the relational statistical space-time concept. *The Nature of Time: Geometry, Physics and Perception* / R. Bucchery et al. eds. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 2003, pp. 221–229.

17. Аристов В.В. Реляционная статистическая модель пространства времени, связь с квантовой механикой и возможные обобщения. *Основания физики и геометрии*. Ю.С. Владимиров ред. М.: Изд-во РУДН, 2008. С. 128–141.
18. Аристов В.В. Конструкция реляционного статистического пространства-времени и физическое взаимодействие / На пути понимания феномена времени в естественных науках. ред. А.П. Левич. М.: Прогресс-Традиция, 2009. Ч. 3. С. 176–206.
19. Aristov V.V. The gravitational interaction and Riemannian geometry based on the relational statistical space-time concept. *Gravitation and Cosmology*. 2011. 17. № 2, pp. 166–169.

References

1. Aristov V.V. Relational statistical space time and construction of a unified physical theory. *Space, time and fundamental interactions.*, 2018, no. 4(25), pp. 4–20. (in Russian)
2. Aristov V.V. Constructing relational statistical spacetime in the theory of gravitation and in quantum mechanics. *Proceedings of the Fourteenth Marcel Grossmann meeting on Recent Developments in Theoretical and Experimental General Relativity, Astrophysics and Relativistic Field Theory*. eds. M. Bianchi., R.T. Jantzen and R. Ruffini. World Scientific. Singapore. 2018, pp. 2671–2676.
3. Agnese R. et al. WIMP-Search Results from the Second CDMSlite Run. *Phys. Rev. Lett.*, 2016, 116, pp. 071301. arXiv:1509.02448.
4. Petricca F. et al. First results on low-mass dark matter from the CRESST-III experiment. arXiv:1711.07692.
5. Abea K. et al. A direct dark matter search in XMASS-I. *Physics Letters B*, 2019, 789, pp. 45–53. arXiv:1804.02180.
6. Aprile E. et al. First results on the scalar WIMP–pion coupling, using the XENON1T experiment. *Phys. Rev. Lett.*, 2019, 122, pp. 071301. arXiv: 1811.12482v2 [hep-ph] 22 Feb 2019.
7. McGaugh S.S., Lelli F., Schombert J.M. Radial acceleration relation in rotationally Galaxies. *Phys. Rev. Lett.*, 2016, 117, pp. 201101. <https://arxiv.org/abs/1609.05917v>
8. Kovács O.E., Bogdán A., Smith R.K., Kraft R.P. and Forman W.R. Detection of the missing baryons toward the sightline of h 1821+643. *accepted for Astrophysical Journal*, 2018. arXiv:1812.04625
9. Biernaux J., Magain P., Hauret C. Analysis of luminosity distributions of strong lensing galaxies: subtraction of diffuse lensed signal. *Astronomy & Astrophysics (A&A)*, 2017, 604, pp. A46. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201730907>
10. Genzel R., Schreiber N., Übler H., et al. Strongly baryon-dominated disk galaxies at the peak of galaxy formation ten billion years ago. *Nature*. 2017, 543, pp. 397–401. <https://doi.org/10.1038/nature21685>
11. Milgrom M. A modification of the Newtonian dynamics: implication for galaxies. *Astrophysical Journal*, 1983, 270, pp. 371–383.
12. Vladimirov Ju.S., Romashka M.Ju. Modified Newtonian dynamics (MOND) and its possible interpretations. *Space, time and fundamental interactions*, 2013, no. 1(2), pp. 64–77. (in Russian).
13. Aristov V.V. Relational statistical space-time for cosmological scales and explanation of physical effects. *Theoretical physics and its applications*. Moscow: Moscow State Open University, 2013, pp. 9–14.
14. Aristov V.V. Statistical model of clocks in physical theory. *Doklady Physics*, 1994, 334, pp. 161–164.
15. Aristov V.V. Relative statistical model of clocks and physical properties of time. *On the way to understanding the time phenomenon: the constructions of time in nature science*. A.P. Levich ed. Singapore: World Scientific, 1995, pp. 26–45.
16. Aristov V.V. On the relational statistical space-time concept. *The Nature of Time: Geometry, Physics and Perception*. R. Buchery et al. eds. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003, pp. 221–229.
17. Aristov V.V. Relational statistical model of spacetime, connection with quantum mechanics and possible generalizations. *Basics of physics and geometry*. Yu. S. Vladimirov ed. Moscow, RUDN, 2008, pp. 128–141. (in Russian)
18. Aristov V.V. Construction of relational statistical theory of spacetime and physical interaction. *On the way to understanding the time phenomenon: the constructions of time in nature science*. A.P. Levich ed. Moscow, Progress-Tradizia, 2009, Part 3, pp. 176–206. (in Russian)

19. Aristov V.V. The gravitational interaction and Riemannian geometry based on the relational statistical space-time concept. *Gravitation and Cosmology*. 2011, 17, no. 2, pp. 166–169.

Авторы

Аристов Владимир Владимирович, профессор, д. ф.-м. н., главный научный сотрудник, Вычислительный центр им. А.А. Дородницына, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, ул. Вавилова, 40., г. Москва, 119333, Россия.

E-mail: aristovvl@yandex.ru

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Аристов В. В. Теоретическая интерпретация темной материи в концепции реляционного статистического пространства-времени. *Пространство, время и фундаментальные взаимодействия*. 2020. № 3. С. 4–14.

Authors

Aristov Vladimir Vladimirovich, Professor, Doctor of Physics and Mathematics, Principal Researcher, Dorodnicyn Computing Center, Federal research center "Computing science and Control" of Russian Academy of Sciences, Vavilova str., 40, Moscow, 119333, Russia.

E-mail: aristovvl@yandex.ru

Please cite this article in English as:

Aristov V. V. Theoretical interpretation of dark matter in concept of relational statistical spacetime. *Space, Time and Fundamental Interactions*, 2020, no. 3, pp. 4–14.