

ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ КАК ЭФФЕКТ ФРАКТАЛЬНОСТИ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПРОСТРАНСТВА

А.А. Кириллов

ka98@mail.ru

Е.П. Савелова

Государственный университет «Дубна», Дубна, Московская обл.,
Российская Федерация
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Предложена модель, в которой Вселенная обладает фрактальной топологической структурой. Такая структура описана однородным газом кротовых нор. Показано, что эффекты поляризации кротовых нор в гравитационном поле приводят к пространственной дисперсии и модификации закона Ньютона. Зависимость от масштаба задана функцией распределения расстояний между выходами из горловин кротовых нор

Ключевые слова

Фрактальная структура, темная материя, кротовые норы, модификация гравитации

Поступила в редакцию 25.06.2016
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016

Природа темной материи. Одной из центральных проблем современной астрофизики является природа и происхождение темной материи (ТМ). Несмотря на обилие гипотетических кандидатов в физике частиц, проверку на совместимость с астрофизическими наблюдениями выдержать не удастся — слишком экзотическими свойствами должны обладать подобные частицы. Действительно, на момент рекомбинации в ранней Вселенной подобные частицы имеют высокую плотность, но не взаимодействуют ни с барионами ни с излучением. В противном случае они приводят к слишком большим флуктуациям температуры реликтового излучения (минимум на два порядка больше наблюдаемого значения $\Delta T/T \sim 10^{-5}$). В современную эпоху, в центрах галактик (при чрезвычайно малых плотностях) подобные частицы должны достаточно интенсивно взаимодействовать с барионами, чтобы сформировать наблюдаемое коровое распределение плотности темного вещества $\rho \cong \text{const}$. Численный расчет показывает наличие каспа $\rho(r) \cong 1/r$, где r — расстояние от центра галактики [1]. Наличие каспа — неизбежный атрибут потенциальности начальных скоростей и наличия только гравитационного взаимодействия подобных частиц.

В этом отношении несостоятельность физики частиц породила моду на построение различных модификаций теории тяготения, основанных как на вполне разумных физических эффектах (поляризации вакуума, квантовых поправках, так называемая $f(R)$ -гравитация), так и экзотических теориях (Миллгром [2], Пенроуз [3] и др.). Если по поводу первых можно утверждать, что они могут представлять лишь чисто академический интерес (все поправки имеют порядок

степеней $(L / \ell_{Pl})^n$, где L — характерный масштаб изменения поля; ℓ_{Pl} — планковский масштаб), то о вторых трудно что-либо утверждать. Можно лишь усомниться в том, что огромное многообразие проявлений ТМ удастся «уместить» в какую-либо модификацию теории тяготения.

Приемлемый ответ на вопрос о природе ТМ дают модели квантовой гравитации на решетке [4–6]. На планковских масштабах пространственно-временная пена обладает фрактальными свойствами. В частности, численный расчет [6] показывает, что спектральная размерность пространства изменяется от значения $D = 3/2$ на очень малых субпланковских масштабах до $D = 4$ на больших (макроскопических) расстояниях.

Фрактальную структуру можно описать следующим образом. Рассмотрим произвольную точку (событие) x в пространстве (пространстве–времени) и зафиксируем геодезическое расстояние R , а также объем¹ части пространства $\Omega_x(R)$, которая попадает внутрь геодезического шара $d(x, y) \leq R$. Однородность пены означает следующее: среднее значение $\langle \Omega_x(R) \rangle = \Omega(R)$ не зависит от положения центра шара x . Тогда зависимость от радиуса $\Omega(R) \propto R^{D_H}$ определяет хаусдорфову размерность пространства D_H . Начальная точка x и пучок исходящих из нее геодезических линий, имеющих все возможные направления², задают так называемую экстраполированную систему координат. Именно такую систему координат и используют в астрофизике. Координатный объем в подобной системе всегда имеет размерность $D = 4$, что отражает простой факт: в теории гравитации пространство локально (псевдо) евклидово. Такая оценка работает и для всех пространств, обладающих простой (евклидовой) топологией. Однако при наличии кротовых нор для достаточно больших радиусов R часть геодезических линий возвращаются и начинают покрывать ту же самую физическую область пространства $\Omega(R)$. С математической точки зрения это означает, что система координат просто перестает работать и необходимо вводить новый локальный атлас. Кроме того, часть пучка геодезических линий, проходя через горловину кротовой норы, может начать покрывать весьма удаленную (или даже несвязанную с исходной) область пространства–времени. Тем самым определенная указанным способом размерность может быть как больше, так и меньше четырех, но $D_H \neq 4$. Какая конкретно получается размерность, зависит от масштаба R и от распределения кротовых нор.

¹ В квантовой гравитации пространственно-временная пена описывает виртуальные изменения топологии, происходящие под потенциальным барьером. Соответственно, время для таких конфигураций является мнимым, а пространство–время имеет евклидову сигнатуру. В случае лоренцевой сигнатуры геодезический шар не ограничивает конечного объема и приведенное здесь описание необходимо изменить (например, исключить время, рассматривая сечения $t = \text{const}$).

² В том числе и пространственно подобные геодезические линии.

Подобная картина и наблюдается на небе. В однородной Вселенной число галактик достаточно хорошо отслеживает поведение физического объема пространства. Последние, демонстрируют фрактальность распределения $N(R) \propto R^d$ с размерностью $d = D - 1 \approx 2$ вплоть до расстояний $R \sim 200 \text{ Mpc}$ [7] ($N(R)$ — число галактик в шаре радиусом R). Отметим, что, проходя через кротовые норы, свет оказывается слишком рассеянным (чтобы наблюдать отдельные галактики) и формирует диффузионный фон [8, 9]. Поэтому размерность пространства, определяемая по галактикам, всегда $d < 3$. В частности, такое поведение распределения галактик представляет собой давнюю и нерешенную проблему дефицита барионов в видимой части Вселенной [10]. Сложная нетривиальная топология пространства приводит к естественной модификации закона Ньютона [11, 12] (без каких-либо модификаций фундаментальных теорий). Это можно интерпретировать как проявление ТМ, что идеально согласуется с наблюдениями [11].

Следовательно, дискретные модели квантовой гравитации (на решетке) фактически навязывают новый космологический сценарий. Инфляционная фаза в ранней Вселенной чрезвычайно быстро и сильно растягивает все масштабы и приводит к закалке фрактальной структуры пространства. Последняя — это мгновенный отпечаток квантовой пространственно-временной пены, существующей на планковских масштабах. Такая сложная фрактальная структура и определяет начальные условия для стандартной космологии. Отметим, что в квантовой гравитации пена соответствует вакуумному состоянию, которое обладает свойствами однородности и изотропии. Соответственно, после закалки, топология также будет обладать подобными свойствами.

Такую структуру можно моделировать однородным и изотропным газом космологических кротовых нор [12]. Большинство астрофизиков скептически относятся к существованию кротовых нор, поэтому этот вопрос будет подробно рассмотрен далее.

Могут ли существовать космологические кротовые норы? Сферические кротовые норы для устойчивости требуют экзотической формы материи (обладающей либо отрицательной плотностью энергии, либо — в более слабом варианте — отрицательным следом тензора энергии импульса). Подобного вещества, разумеется, не существует ни в лабораторных условиях, ни в астрофизических объектах. В литературе на тему экзотической формы материи встречаются спекуляции по поводу эффекта Казимира. Так, при наличии нетривиальных границ (например, проводящих пластин) плотность энергии вакуума изменяется на величину, которая может обладать требуемыми экзотическими свойствами. Однако последняя представляет собой только часть энергии, полная плотность которой имеет стандартную форму. Кроме того, подобная энергия может стабилизировать сферические норы только планковского размера [13], для которых классические уравнения Эйнштейна теряют смысл. Неустойчивость сферических кротовых нор приводит к тому, что подобные объекты быстро коллапсируют (мост Эйнштейна — Розена) и на выходе получается пара черных дыр.

Ситуация изменяется, когда рассматривают менее симметричные конфигурации. Так, в работе [14] было показано, что кротовые норы можно получить просто факторизацией пространства Лобачевского. При этом сечения горловин кротовых нор будут иметь форму тора или более сложных поверхностей (рода $n \geq 1$, т. е. сфер с n ручками). В результате получим пространство постоянной отрицательной кривизны, содержащее произвольное число кротовых нор. Рассматривая кротовые норы как компактные астрофизические объекты, можно утверждать о наличии газа кротовых нор, заполняющих пространство. Если усреднить тор по всем возможным ориентациям в пространстве, то сферическая симметрия восстанавливается и можно ожидать, что сферические кротовые норы могут правильно воспроизвести ряд основных свойств такого газа.

Поскольку газ кротовых нор соответствует пространству постоянной отрицательной кривизны, его последующую космологическую эволюцию полностью задают уравнениями Фридмана

$$H^2 + \frac{k}{a^2} = \frac{8\pi G}{3} \rho,$$

где $H = \dot{a}/a$ — постоянная Хаббла; $k = -1$; ρ — плотность материи (барионов). Метрика имеет вид $ds^2 = dt^2 - a^2(t)dl^2$, где dl^2 — пространство Лобачевского, заполненное газом кротовых нор. Поведение возмущений метрики для указанного пространства полностью определяется теорией Е.М. Лифшица, поскольку уравнения Лифшица (для возмущений метрики) имеют локальный характер и не зависят от глобальной топологической структуры пространства. Однако с количественной (и даже качественной) точки зрения эволюция возмущений в таком пространстве показывает важные отличия (отклонения от поведения возмущений в стандартных моделях Фридмана) [15]. Подобные отклонения действительно видны в наблюдениях и интерпретируются как присутствие ТМ или иных экзотических форм материи (вплоть до модификаций теории тяготения).

Согласно данным, приведенным в работе [6], объем подобного пространства должен возрастать с масштабами как $V(R) \propto R^{d_H}$ с хаусдорфовой размерностью $d = D - 1$ между $1 < d_H \leq 3$. На достаточно малых³ и очень больших масштабах $d_H = 3$, в то время как на промежуточных масштабах размерность изменяется. Разность $d_H - 3 \neq 0$ и наблюдается в виде феномена ТМ. Действительно, простейшая оценка дает закон тяготения Ньютона в виде $F \propto \frac{GM}{S(R)}$, где $S(R)$ — площадь поверхности сферы радиусом R ($S(R) \propto R^{d_H-1}$). Значение $d_H \cong 2$ хорошо согласуется с наблюдениями в области масштабов $5Kpc < R \leq 200Mpc$. Значение $d_H \cong 1$

³ Классическое пространство локально евклидово, поэтому на достаточно малых масштабах всегда $d_H = 3$. В то же время на субпланковских масштабах концепция классического пространства не работает, и снова имеем фрактальную картину пространственно-временной пены, которая представляет собой газ виртуальных (евклидовых) кротовых нор [16].

приводит к слишком сильной гравитационной связи и подобные структуры должны достаточно рано оторваться от общего космологического расширения (или даже быть подавлены во время инфляционной стадии).

С одной стороны, устойчивые кротовые норы требуют пространства отрицательной кривизны. С другой стороны, положение доплеровского пика в спектре флуктуаций реликтового излучения $\Delta T/T$ указывает на то, что пространственная кривизна близка к нулю, и соответственно плотность материи близка к критической. Здесь следует проявить некоторую осторожность в оценке. Во-первых, положение пиков рассчитывают исходя из стандартных моделей Фридмана без учета присутствия космологических кротовых нор. Во-вторых, наличие флуктуаций $\Delta T/T \sim 10^{-5}$ означает, что на момент рекомбинации аналогичные флуктуации присутствуют и в метрике и в плотности вещества $\Delta\Omega = \Omega - 1 \cong 10^{-5}$, где $\Omega = \rho/\rho_{cr}$; $\rho_{cr} = 3H^2/(8\pi G)$ — критическая плотность. Другими словами, пространство разбито на области положительной ($\Omega > 1$, $k/a^2 \cong 10^{-5}H^2$) и отрицательной ($\Omega < 1$, $k/a^2 \cong -10^{-5}H^2$) кривизны. Если в областях пространства, где $\Omega > 1$, наличие кротовых нор требует дополнительных ухищрений (например, повышенной плотности вещества у выхода из горловины кротовой норы), то в областях $\Omega < 1$ в дополнительных ухищрениях нет необходимости.

Отметим, что во фрактальной Вселенной наблюдаемое среднее значение кривизны пространства отличается от локального значения. Оно содержит фактор $V_{ph}(R)/V_{coor}(R)$, где $V_{ph}(R) \approx R^{d_H}$ — физический (или реальный) объем пространства; $V_{coor}(R) \approx R^3$ — координатный, или экстраполированный объем. В этой оценке следует принять $R = R_H$ (R_H — хаббловский радиус, или радиус сферы последнего рассеяния). В соответствии с данными, приведенными в работе [11], оценка $V_{ph}(R)/V_{coor}(R) \approx 10^{-5}$ вполне согласуется с имеющимися наблюдениями (это означает, что на самом деле в момент рекомбинации локальная кривизна и постоянная Хаббла могут иметь одинаковый порядок $k/a^2 \cong H^2$). Это отношение характеризует и долю реально видимых барионов от их числа, предсказываемого теорией первичного нуклеосинтеза. Здесь имеются в виду только галактики и дискретные источники, учет диффузного фона (например, рентгеновского) дает более завышенную оценку вплоть до значений 0,4 [17–19]. Другими словами, такие вопросы требуют дальнейшего и более глубокого изучения.

Следовательно, устойчивые космологические кротовые норы могут не только реализоваться в природе, но и оказываются вполне совместимыми с имеющимися наблюдательными данными. Реальная структура Вселенной может быть далека от той простой картины, которая здесь использована. Так, феноменологическое описание, основанное на стандартной Λ CDM-модели, работает достаточно хорошо, при этом возникают «малые» несоответствия с наблюдениями. Именно последние и заставляют вводить экзотические формы материи или

рассматривать различные модификации теории гравитации. В этом отношении сложная топологическая структура пространства (газ кротовых нор) оказывается гораздо богаче, чтобы уместить все наблюдаемое многообразие несоответствий со стандартной моделью. Далее покажем, что свойство фрактальности вполне совместимо с такими свойствами, как однородность и изотропность газа космологических кротовых нор.

Фрактальность однородного газа кротовых нор и модификация закона Ньютона. На первый взгляд фрактальность топологических свойств пространства требует аналогичного фрактального распределения кротовых нор. Покажем следующее: даже однородный газ кротовых нор может приводить к тому, что топология пространства будет иметь фрактальные свойства.

Рассмотрим простейшую модель, предложенную ранее в работе [12], которая явно демонстрирует, что нетривиальная топология пространства может хорошо моделировать эффекты ТМ. Предложенная модель основана на сферически симметричных кротовых норах, в то время как реальные норы имеют сечения горловин в форме тора. При усреднении по всем возможным ориентациям тора (горловины кротовой норы), сферическая симметрия восстанавливается. Именно в таком представлении следует понимать используемую модель. Можно показать, что с учетом реальной структуры кротовой норы в главном порядке результаты остаются неизменными.

В случае достаточно слабого гравитационного поля уравнения Эйнштейна для потенциальных возмущений (временная компонента уравнений Эйнштейна) сводится к стандартному уравнению Лапласа для ньютоновского потенциала

$$\frac{1}{a^2} \Delta \phi = 4\pi G \left(\delta\rho + \frac{3}{c^2} \delta p \right),$$

где a — масштабный фактор; $\delta\rho$; δp — возмущения плотности и давления. Таким образом, поведение возмущений определяется поведением функции Грина

$$\Delta G(x, x') = 4\pi \delta(r - r').$$

В евклидовом пространстве функция Грина задает стандартный закон Ньютона $G_0 = -1/r$ ($G_0 = -4\pi/k^2$ — в преобразовании Фурье). При наличии кротовых нор ее поведение меняется, поскольку учитываются нетривиальные граничные условия на горловинах кротовых нор. Удобно полагать, что функция Грина подчиняется уравнению Пуассона, нетривиальные граничные условия будем учитывать введением дополнительных источников, которые возникают вследствие поляризации горловин во внешнем поле. Это можно понимать как обобщенную топологическую восприимчивость, или смещение источника

$$\Delta G(x, x') = 4\pi(\delta(r - r') + b(r - r')).$$

Для случае однородного газа кротовых нор в линейном приближении функция смещения была впервые вычислена в работе [12] (более общий случай рассмотрен в работе [16]) и имеет вид

$$b(k) = 2n\bar{R} \frac{4\pi}{k^2} (v(k) - v(0)).$$

Здесь n — плотность горловин кротовых нор; \bar{R} — среднее эффективное значение радиуса горловины⁴; $v(k)$ — преобразование Фурье функции распределения по расстояниям между различными выходами из кротовой норы (функция нормирована так, что $\int v(X) d^3X = 1$). Таким образом, истинная функция Грина, содержащая поправки, имеет вид

$$G(k) = \frac{-4\pi}{k^2} \left(1 + 2n\bar{R} \frac{4\pi(v(k) - v(0))}{k^2} \right).$$

Пусть все расстояния между выходами из кротовых нор одинаковы и имеют значение r_0 , тогда получим изотропное распределение вида $v(X) = (4\pi r_0^2)^{-1} \delta(|X| - r_0)$, а в преобразовании Фурье найдем

$$v(k) = \int v(X) e^{-ikX} d^3X = \frac{\sin kr_0}{kr_0}.$$

Тогда функция смещения примет вид

$$b(k) = -2n\bar{R} \frac{4\pi}{k^2} \left(1 - \frac{\sin kr_0}{kr_0} \right).$$

Для малых значений $kr_0 = 1$ имеем $b(k) = \frac{4\pi}{3} n\bar{R}r_0^2 \left(-1 + \frac{3!}{5!} (kr_0)^2 + \dots \right)$. Первый член этого разложения соответствует перенормировке гравитационной постоянной, в то время как все последующие члены описывают поправки к закону Ньютона.

На первый взгляд, приведенное выше разложение, описывает достаточно общий случай. Действительно, рассмотрим дополнительное распределение по расстояниям r_0 с произвольной плотностью вероятности $p(x)$. Тогда то же самое разложение будет работать и для средних величин

$$\left\langle \frac{\sin kr_0}{kr_0} \right\rangle = \sum \frac{(-1)^n}{(2n+1)!} \langle (kr_0)^{2n} \rangle,$$

что соответствует простой замене $r_0^{2n} \rightarrow \langle r_0^{2n} \rangle$. Однако такая замена возможна только тогда, когда все моменты имеют конечные значения. В частности, такая си-

⁴ Отметим, что устойчивые горловины имеют форму тора, а величина $\pi\bar{R}^2$ характеризует площадь сечения горловины.

туация реализуется в случае нормальных или гауссовых распределений. Кроме нормальных распределений существуют и распределения другого типа, обладающие фрактальными свойствами. Примером служит характеристическая функция

$$v(k) = \exp(A(ik)^\alpha + B(-ik)^\alpha). \quad (1)$$

При $\alpha = 2$ функция (1) соответствует стандартному гауссову распределению, а при $\alpha < 2$ дисперсия, соответствующая этому распределению, оказывается бесконечной

$$\sigma = \frac{d^2}{dk^2}(\ln v(k))|_{k=0} \propto k^{\alpha-2} \rightarrow \infty$$

так же, как и все остальные моменты. Параметр α связан с хаусдорфовой размерностью пространства d_H и характеризует фрактальность его структуры. В этом случае приведенное выше разложение (через моменты) не работает. Однако для получения поправок к закону тяготения можно использовать разложение характеристической функции $v(k)$ в виде

$$v(k) = 1 + (kL)^\alpha \sum \left(\frac{C^{n+1}}{(n+1)!} kL \right)^{an}.$$

Здесь характерный масштаб L и фазы $|C| \sim 1$ определены простым соотношением

$$A(ik)^\alpha + B(-ik)^\alpha = C(kL)^\alpha.$$

Во избежание недоразумений укажем, что масштаб L не является некоторым средним расстоянием между выходами из горловин (в случае приведенного выше фрактального распределения моменты расходятся).

В области коротких длин волн $kL \gg 1$ (малых расстояний) эта функция быстро осциллирует и дает $b(k) \rightarrow 0$ (т. е. работает стандартный закон Ньютона). На относительно больших расстояниях, в области длин волн $kL \ll 1$, сохраняя только первый член разложения $v(k) \cong 1 + C(kL)^\alpha$, для функции Грина в газе кротовых нор получим выражение

$$G(k) = \frac{-4\pi}{k^2} (1 + (kR_0)^{\alpha-2} + \dots). \quad (2)$$

Здесь введен новый масштаб R_0 , определяемый по параметрам газа кротовых нор, $R_0^{\alpha-2} = 8\pi Cn\bar{R}L^\alpha$.

Выражение (2) совпадает с эмпирической (наблюдаемой в галактиках) функцией Грина G_{emp} , которую можно восстановить по кривым вращения [20]. Появившаяся в (2) поправка, описывающая изменение закона Ньютона, соответствует поведению ТМ в галактиках. Эмпирические параметры имеют значения $\alpha \approx 1$ и $R_0 \sim 5Kpc$. Параметр α связан с хаусдорфовой размерностью,

кроме того значение соответствующего масштаба R_0 слегка изменяется в разных галактиках.

Заключение. Перечислим основные результаты работы. Во-первых, показано, что наиболее естественной причиной появления эффектов скрытой массы является сложность или фрактальность топологической структуры пространства. На очень малых субпланковских масштабах фрактальность структуры пространства–времени предсказывают решеточные модели квантовой гравитации. Общепринято, что в прошлом Вселенная испытывала стадию экспоненциального раздувания (стадию инфляции). Именно в этот момент происходит «закалка» фрактальной структуры, которая представляет собой начальные условия для стандартной модели Фридмана.

Во-вторых, фрактальную структуру пространства моделируют однородным и изотропным газом космологических кротовых нор. Устойчивые кротовые норы имеют сечение горловин в форме тора или более сложной поверхности. Кротовые норы такого типа не требуют наличия каких-либо экзотических форм материи и не исключены (не противоречат) существующим наблюдениям.

В-третьих, однородный и изотропный газ кротовых нор может приводить к фрактальности свойств пространства. Фрактальность следует из распределения кротовых нор по расстояниям между выходами из горловин кротовых нор. Кроме того, вычисленная для газа кротовых нор поправка к закону тяготения Ньютона соответствует наблюдаемому поведению скрытой массы в галактиках.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Diemand J., Zemp M., Moore B., Stadel J., Carollo M.* Cusps in cold dark matter haloes // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2005. Vol. 364. No. 2. P. 665–673.
2. *Milgrom M.* A modification of the Newtonian dynamics as a possible alternative to the hidden mass hypothesis // Astrophysical Journal. 1983. Vol. 270. P. 365–370.
3. *Penrose R.* 2010 Cycles of time: An extraordinary new view of the universe. UK, London: Bodley Head.
4. *Knizhnik V., Polyakov A., Zamolodchikov A.* Fractal structure of 2D quantum gravity // Mod. Phys. Lett. A. 1988. Vol. 3. P. 819.
5. *Kawai H., Kawamoto N., Mogami T., Watabiki Y.* Transfer matrix formalism for two-dimensional quantum gravity and fractal structures of space-time // Phys. Lett. B. 1993. Vol. 306. P. 19–26.
6. *Ambjorn J., Jurkiewicz J., Loll R.* Spectral dimension of the Universe // Phys. Rev. Lett. 2005. Vol. 95. P. 171301.
7. *Coleman P.H., Pietronero L.* The fractal structure of the Universe // Phys. Rep. 1992. Vol. 213. P. 311–389.
8. *Kirillov A.A., Turaev D.* Foam-like structure of the Universe // Phys. Lett. B. 2007. Vol. 656. P. 1–8.

9. Kirillov A.A., Savelova E.P., Shamshutdinova G.D. On the topological bias of discrete sources in the gas of wormholes // JETP Lett. 2009. Vol. 90. P. 599–603.
10. Fukugitai M., Hogan C.J., Peebles P.J.E. The cosmic baryon budget // Astrophysical Journal. 1998. Vol. 503. P. 518.
11. Kirillov A.A. The nature of dark matter // Phys. Lett. B. 2006. Vol. 632. P. 453–462.
12. Kirillov A.A., Savelova E.P. Dark matter from a gas of wormholes // Phys. Lett. B. 2008. Vol. 660. P. 93–99.
13. Khatsymovsky V. Can wormholes exist? // Phys. Lett. B. 1994. Vol. 320. P. 234–240.
14. Kirillov A.A., Savelova E.P. Cosmological wormholes // Int. J. Mod. Phys. D. 2016. Vol. 25. P. 1650075.
15. Kirillov A.A., Savelova E.P. Density perturbations in a gas of wormholes // Mon. Not. RAS. 2011. Vol. 412. P. 1710–1720.
16. Savelova E.P. Gas of wormholes in Euclidean quantum field theory // Grav. Cosmol. 2015. Vol. 21. P. 48–56.
17. Nicastro F., Mathur S., Elvis M., Drake J., Fiore F., Fang T., Fruscione A., Krongold Y., Marshall H., Williams R. Chandra detection of the first X-ray forest along the line of sight to Markarian 421 // Astrophysical Journal. 2005. Vol. 629. P. 700.
18. Tripp T.M., Sembach K.R., Bowen D.V., Savage B.D., Jenkins E.B., Lehner N., Richter P. A high-resolution survey of low-redshift QSO absorption lines: statistics and physical conditions of O VI absorbers // Astrophysical Journal. Supplement series. 2008. Vol. 177. P. 39.
19. Buote D.A., Zappacosta L., Fang T., Humphrey P.J., Gastaldello F., Tagliaferri G. X-Ray absorption by WHIM in the sculptor wall // Astrophysical Journal. 2009. Vol. 695. P. 1351.
20. Kirillov A.A., Turaev D. The Universal rotation curve of spiral galaxies // Mon. Not. RAS. L. 2006. Vol. 371. P. 31–35.

Кириллов Александр Альбертович — д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры «Теоретическая физика» Государственного университета «Дубна» (Российская Федерация, 141982, Дубна, Московская обл., ул. Университетская, д. 19), профессор кафедры «Физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5).

Савелова Елена Павловна — канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Прикладная математика» Государственного университета «Дубна» (Российская Федерация, 141982, Дубна, Московская обл., ул. Университетская, д. 19), доцент кафедры «Математическое моделирование» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Кириллов А.А., Савелова Е.П. Темная материя как эффект фрактальности топологической структуры пространства // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2016. № 6. С. 110–121. DOI: 10.18698/1812-3368-2016-6-110-121

DARK MATTER AS FRACTALITY EFFECT OF TOPOLOGICAL SPACE STRUCTURE

A.A. Kirillov

ka98@mail.ru

E.P. Savelova

University Dubna, Dubna, Moscow Region, Russian Federation

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The current research suggests the model in which the Universe possesses the fractal topological structure. We describe such structure by a homogeneous gas of cosmological wormholes. The study shows that the wormholes polarization effects in external gravitational fields lead to the spatial dispersion and modification of Newton's law. We interpret such modification as the presence of dark matter. The dependence on scales is determined by the distribution of wormholes over the distances between throat mouths. Findings of the research show that the fractal law of the wormholes distribution gives a clear explanation for the empirically observed distribution of dark matter in galaxies

Keywords

Fractal structure, dark matter, wormholes, modification of gravity

REFERENCES

- [1] Diemand J., Zemp M., Moore B., Stadel J., Carollo M. Cusps in cold dark matter haloes. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2005, vol. 364, no. 2, pp. 665–673.
- [2] Milgrom M. A modification of the Newtonian dynamics as a possible alternative to the hidden mass hypothesis. *Astrophysical Journal*, 1983, vol. 270, pp. 365–370.
- [3] Penrose R. 2010 Cycles of time: An extraordinary new view of the universe. UK, London, Bodley Head.
- [4] Knizhnik V., Polyakov A., Zamolodchikov A. Fractal structure of 2D quantum gravity. *Mod. Phys. Lett. A*, 1988, vol. 3, p. 819.
- [5] Kawai H., Kawamoto N., Mogami T., Watabiki Y. Transfer matrix formalism for two-dimensional quantum gravity and fractal structures of space-time. *Phys. Lett. B*, 1993, vol. 306, pp. 19–26.
- [6] Ambjorn J., Jurkiewicz J., Loll R. Spectral dimension of the Universe. *Phys. Rev. Lett.*, 2005, vol. 95, p. 171301.
- [7] Coleman P.H., Pietronero L. The fractal structure of the Universe. *Phys. Rep.*, 1992, vol. 213, pp. 311–389.
- [8] Kirillov A.A., Turaev D. Foam-like structure of the Universe. *Phys. Lett. B*, 2007, vol. 656, pp. 1–8.
- [9] Kirillov A.A., Savelova E.P., Shamshutdinova G.D. On the topological bias of discrete sources in the gas of wormholes. *JETP Lett.*, 2009, vol. 90, pp. 599–603.

- [10] Fukugitai M., Hogan C.J., Peebles P.J.E. The cosmic baryon budget. *Astrophysical Journal*, 1998, vol. 503, p. 518.
- [11] Kirillov A.A. The nature of dark matter. *Phys. Lett. B*, 2006, vol. 632, pp. 453–462.
- [12] Kirillov A.A., Savelova E.P. Dark matter from a gas of wormholes. *Phys. Lett. B*, 2008, vol. 660, pp. 93–99.
- [13] Khatsymovsky V. Can wormholes exist? *Phys. Lett. B*, 1994, vol. 320, pp. 234–240.
- [14] Kirillov A.A., Savelova E.P. Cosmological wormholes. *Int. J. Mod. Phys. D*, 2016, vol. 25, p. 1650075.
- [15] Kirillov A.A., Savelova E.P. Density perturbations in a gas of wormholes. *Mon. Not. RAS*, 2011, vol. 412, pp. 1710–1720.
- [16] Savelova E.P. Gas of wormholes in Euclidean quantum field theory. *Grav. Cosmol.*, 2015, vol. 21, pp. 48–56.
- [17] Nicastro F., Mathur S., Elvis M., Drake J., Fiore F., Fang T., Fruscione A., Krongold Y., Marshall H., Williams R. Chandra detection of the first X-ray forest along the line of sight to Markarian 421. *Astrophysical Journal*, 2005, vol. 629, p. 700.
- [18] Tripp T.M., Sembach K.R., Bowen D.V., Savage B.D., Jenkins E.B., Lehner N., Richter P. A High-resolution survey of low-redshift QSO absorption lines: statistics and physical conditions of O VI absorbers. *Astrophysical Journal. Supplement series*, 2008, vol. 177, p. 39.
- [19] Buote D.A., Zappacosta L., Fang T., Humphrey P.J., Gastaldello F., Tagliaferri G. X-Ray absorption by WHIM in the sculptor wall. *Astrophysical Journal*, 2009, vol. 695, p. 1351.
- [20] Kirillov A.A., Turaev D. The Universal rotation curve of spiral galaxies. *Mon. Not. RAS. L*, 2006, vol. 371, pp. 31–35.

Kirillov A.A. — Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor of Theoretical Physics Department, University Dubna (ul. Universitetskaya 19, Dubna, Moscow Region, 141982 Russian Federation), Professor of Physics Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

Savelova E.P. — Cand. Sci. (Phys.-Math.), Assoc. Professor of Applied Mathematics Department, University Dubna (ul. Universitetskaya 19, Dubna, Moscow Region, 141982 Russian Federation), Assoc. Professor of Mathematical Modelling Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Kirillov A.A., Savelova E.P. Dark Matter as Fractality Effect of Topological Space Structure. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Estestv. Nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 2016, no. 6, pp. 110–121.

DOI: 10.18698/1812-3368-2016-6-110-121