

МУЛЬТИРАЗМЕРНОЕ ГРАВИТАЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ. КРИВЫЕ ВРАЩЕНИЯ ГАЛАКТИК

*В. А. Пуга**

ООО «Инфо-Центр»
432030, Ульяновск, Россия

Поступила в редакцию 15 февраля 2013 г.

Предложено описание гравитационного взаимодействия, основанное на предположении об изменении размерности пространства-времени в анизотропных областях галактик. Анализ кривых вращения 60 галактик показал хорошее соответствие описанию при значениях постоянных гравитации для двумерного и одномерного взаимодействий соответственно $(2.7 \pm 0.4) \cdot 10^{-31} \text{ м}^2/\text{кг}\cdot\text{с}^2$ и $(3.0 \pm 1.0) \cdot 10^{-53} \text{ м}/\text{кг}\cdot\text{с}^2$. Согласие достигается с помощью всего двух подгоночных параметров. Полученные оценки масс галактик насыщаются массой барионного вещества. Определен характеристический размер $(7.4 \pm 0.5) \cdot 10^{21} \text{ м}$, на котором происходит перестройка пространственной симметрии с эффективным изменением размерности пространства. Показано, что сила и симметрия взаимодействия связаны с симметрией гравитирующих объектов.

DOI: 10.7868/S0044451014090090

1. ВВЕДЕНИЕ

Гравитационное взаимодействие относится к числу наиболее известных явлений природы. Однако в понимании именно этого вида взаимодействия с начала 20 века возникли серьезные проблемы, относящиеся к объектам, недоступным для прямого эксперимента. Сюда следует отнести

несоответствия ньютоновскому характеру орбитальных скоростей галактик в скоплениях, превышающие расчетные в 160 и более раз;

несоответствия масс галактик, определенных по светимости и гравитационному линзированию;

«неньютоновский» вид кривых вращения галактик;

установление факта расширения Вселенной с ускорением;

сложности с объяснением такого явления, как «темный поток» — направленного движения огромного числа галактик;

наличие в крупномасштабной Вселенной стен, пустот, нитей (walls, voids, filaments);

проблему происхождения «темной энергии», или, иначе, что вызывает антигравитацию с уравнением

состояния $-(1/3)\rho c^2 > P > -\rho c^2$ — только при соблюдении этого условия Вселенная плоская;

проблему космического вакуума;

связь темпов расширения Вселенной со средней плотностью вещества (в предположении, что кривизна равна нулю, эта плотность должна быть $10^{-29} \text{ г}/\text{см}^3$, однако барионного вещества в 20 раз меньше).

Наиболее наглядно отклонения в поведении гравитирующих систем от классических моделей проявляются в форме кривых вращения галактик, что соответствует диапазону расстояний 0.2–100 кпк и масс 10^{37} – 10^{41} кг (здесь и далее мы для удобства приводим массы в килограммах, хотя общепринятая единица измерений — масса Солнца M_{\odot} ; мы условно принимаем ее равной $2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$).

Уравнение движения масс в ньютоновской физике (центросимметричная задача)

$$mV^2/R = GMm/R^2 \quad (1)$$

определяет обратно-квадратичную зависимость скорости V от расстояния R между центрами масс:

$$V^2 = GM/R, \quad (2)$$

где G — гравитационная постоянная, M — основная гравитирующая масса, m — масса пробного тела.

Согласно классической механике, орбитальные скорости звезд в галактиках рассчитываются по те-

*E-mail: ic.1cv8@gmail.com

ореме вириала, при этом радиальное распределение скоростей также обратно-квадратичное. Однако реально наблюдаемые кривые вращения имеют качественно иной вид: при удалении от центра галактик орбитальные скорости не снижаются, а в некоторых случаях даже увеличиваются, причем это характерно практически для всех галактик.

Объяснение неньютоновского характера кривых вращения галактик в скоплениях с помощью феноменологического понятия «темной материи» принадлежит Цвикки [1]. Он показал, что скорости галактик в скоплениях (от 3700 до 12 000 км/с) превышают расчетные в 50–160 раз, и именно из этого факта возникло первоначальное предположение о существовании «темной материи».

Аналогичное предположение делается и для объяснения распределения орбитальных скоростей звезд в галактиках.

Таким образом, в рамках Стандартной Космологической Модели к массе галактик, определенной по светимости (что естественно считать верной оценкой), добавляется масса их темной материи, в 4–6 раз превышающая барионную массу, — для объяснения кривых вращения галактик. Затем к сумме таких масс по числу галактик добавляется еще масса темной материи — уже для объяснения орбитальных скоростей самих галактик в скоплениях.

В качестве Стандартной Космологической Модели сейчас выступает основанная на таких предположениях Λ -CDM модель, в соответствии с которой доля небарионной материи в общей гравитирующей массе варьируется и по некоторым оценкам составляет более 96 %.

Казалось бы, предположение о существовании «темных сущностей» является минимальным отклонением от парадигмы современной науки, однако даже их введение не позволяет объяснить в рамках единой модели совокупность отклонений от привычной физики для разнородных астрономических объектов. Вопросы о природе темной материи и «темной энергии» включены в число нерешенных проблем фундаментальной физики [2].

Явные затруднения в описании физики космологических объектов вызвали появление более 30 альтернативных моделей гравитации. Так, в статье [3] предложена феноменологическая модель модифицированной ньютоновской динамики (MOND), развитая в дальнейшем применительно к теории относительности Эйнштейна [4].

В 2004 г. Моффат предложил обобщение эйнштейновской теории гравитации — теорию MSTG [5]. Позднее была опубликована работа [6], в кото-

рой приведены кривые вращения более чем для 100 галактик. Рассчитанные в этой работе формы кривых вращения хорошо описывают экспериментальные данные. Однако очевидно, что сама по себе аппроксимация экспериментальных кривых возможна различными методами, а точность подгонки зависит от количества подгоночных параметров, что мы и видим на примере работ [3, 5].

Для объяснения поведения гравитирующих объектов предлагается также использовать четырехмерное пространство-время, но с финслеровой метрикой вместо метрики Римана [7], а также киральные модели теории поля, где взаимодействие вводится чисто геометрическим способом [8, 9].

В современной физике имеются модели, привлекающие представление об изменении размерности пространства-времени. В теориях струн и бран предполагается, что четырехмерная метрика нашего пространства является подпространством пространства с большим числом измерений [10]. Представления о пространствах иных размерностей, чем (1+3), активно применяются в физике элементарных частиц [11–14]. В работе [15] идея о существовании барионных струн использована для объяснения механики галактик.

В качестве доказательства существования темной материи часто приводятся примеры взаимодействия галактик (например, широко известного скопления галактик 1E 0657-558 «Пуля»). Описание таких ситуаций требует анализа и убедительного математического расчета взаимодействия объектов с нарушенной симметрией в ландшафте пространства с размерно-меняющейся метрикой, что выходит за рамки настоящей работы. Для решения такой непростой задачи требуется проверка применимости представлений о размерно-зависимом нарушении метрики и симметрии пространства на относительно «простых» космологических объектах, а также установление основных констант модели, что и является целью настоящей работы.

Некоторые характеристики крупномасштабных объектов Вселенной представлены в табл. 1.

2. МОДЕЛЬ И МЕТОДЫ

Мы полагаем, что в некоторых условиях, в частности при изменении локальной симметрии системы, может происходить изменение метрики пространства-времени путем редукции одного из пространственных направлений.

Наша задача упрощается тем, что рассматрива-

Таблица 1. Характерные параметры космологических объектов

Объекты	Состоит из...	Размеры	Размер в метрах	Массы опубликованные (с темной материей)	Массы за вычетом темной материи (наша корректировка)
Галактики	10^6-10^{11} звезд	5–200 кпк	$10^{20}-6 \cdot 10^{21}$ м	$(10^7-10^{12})M_{\odot}$	$8 \cdot 10^{36}-8 \cdot 10^{41}$ кг
Высокоскоростные облака	150000 св. лет от Галактики	Поперечник 10000 св. лет	$5 \cdot 10^{21}$ м	Сгустки H_2 до $10^6 M_{\odot}$	$2 \cdot 10^{39}$ кг
Скопления галактик	10^3-10^6 галактик	0.1–100 Мпк	$3 \cdot 10^{20}-3 \cdot 10^{23}$ м	$(10^{13}-10^{15})M_{\odot}$	$8 \cdot 10^{41}-8 \cdot 10^{43}$ кг
Цепочка Маркаряна	Не менее 7 галактик	–	–	–	–
Сверхскопления	–	100-1000 Мпк	–	–	–
Великая стена Слоуна	–	10^9 св. лет	$1.4 \cdot 10^{25}$ м	–	–
Великая стена CfA2	До 20 скоплений галактик	$> 500 \cdot 10^6$ св. лет	$> 5 \cdot 10^{24}$ м	–	$10^{44}-10^{45}$ кг
Нити (филаменты)	–	–	–	–	–
Темный поток	> 1000 скоплений галактик	–	–	$\sim 10^{17} M_{\odot}$	$\sim 2 \cdot 10^{46}$ кг
Громадная группа квазаров	73 квазара	$1240 \times 640 \times 370$ Мпк ³	$3.7 \cdot 10^{25}$ м	$6.1 \cdot 10^{18} M_{\odot}$	$1 \cdot 10^{47}$ кг

емые системы далеки от релятивистских особенностей, так как скорости движения объектов обычно не превышают 1000–3000 км/с. Это позволяет описывать системы без привлечения тензорных форм уравнений движения, тем более, что уравнения общей теории относительности Эйнштейна записаны применительно к четырехмерному пространству-времени и для описания пространств другого числа измерений требуют непростой модификации.

Зависимость сил от расстояния для пространств с различным числом пространственных измерений можно описать степенной зависимостью, аналогичной закону Ньютона (1), но с иными показателями степени:

$$F = G_i M m / R^{i-1}, \tag{3}$$

где F — сила, i — число пространственных координат, M , m , R — массы и расстояние в их «класси-

ческом» понимании, G_i — коэффициенты (в частности, G_3 — гравитационная постоянная Ньютона). Некоторым основанием для такого предположения могут служить результаты анализа законов движения при числе пространственных измерений, отличном от трех, полученные Эренфестом [16]. Очевидно, что коэффициенты G_i для метрик пространства-времени, отличных от (1+3), будут иметь отличные от G_3 размерности и, соответственно, иные значения.

В рамках наших предположений зависимость орбитальных скоростей от расстояний может быть описана уравнением, подобным уравнению Ньютона (2):

$$V^2 = M(G_3/R + G_2 + G_1 R). \tag{4}$$

Отклонение от кеплеровских законов движения в таком предположении будет заключаться в допол-

нительном воздействии одно- и двумерной составляющих, приводящем к снижению локальной симметрии системы. Возможность локального нарушения симметрии соответствует современным представлениям Стандартной Модели элементарных частиц, в которой предположения о спонтанных нарушениях симметрии выступают в качестве одного из основных факторов, позволяющих объяснить свойства изучаемых объектов. В рассматриваемом нами случае гравитационного взаимодействия применительно к галактикам такое нарушение симметрии может быть описано как $SO(3, 1) \Rightarrow SO(2, 1) \otimes O(1, 1)$.

Заметим, что в предлагаемой нами модели квазидвумерные области пространства также могут выступать в роли гравитационных линз без привлечения экзотического понятия темной материи в силу неразличимости в общей теории относительности понятий гравитационного притяжения и искривления пространства.

3. ОБРАБОТКА ИМЕЮЩИХСЯ ДАННЫХ

3.1. Оценка параметров модели

Для расчета кривых вращения галактик необходимы некоторые предположения о профиле распределения масс внутри ядра и в диске. Для описания распределения масс мы использовали тот же профиль распределения, что и в работах [5, 6]:

$$M(r) = M \left(\frac{R}{R + R_b} \right)^{3\beta} \quad (5)$$

с параметром $\beta = 1$. Здесь r — текущая координата, R_b — радиус ядра.

Мы используем в этом разделе нашей работы наблюдательные данные в виде графиков, приведенных в работах [5, 6], однако для обработки данных используем наши предположения предыдущего раздела.

На рис. 1 приведены примеры расчетных кривых вращения при различных значениях радиуса ядра и масс. Заметим, что общий вид большинства фактически наблюдаемых кривых вращения может быть описан в рамках наших предположений, при этом в модели присутствуют лишь два подгоночных параметра — масса галактики и размер ее ядра. Коэффициенты G_2 , G_1 при такой обработке данных определяются также путем подбора, однако в рамках принятой нами модели их значения постоянны для всей совокупности обрабатываемых данных. Форма расчетных кривых вращения весьма чувствительна к

значениям G_2 , G_1 , что обеспечивает высокий уровень точности в подборе их значений.

Мы обработали данные работ [5, 6] по 60 галактикам. Численные значения коэффициентов G_2 , G_1 определены как наиболее приемлемые для описания формы каждой экспериментальной кривой по всей их совокупности и составили для

$$G_2 = (2.7 \pm 0.4) \cdot 10^{-31} \text{ м}^2/\text{кг} \cdot \text{с}^2,$$

$$G_1 = (3.0 \pm 1.0) \cdot 10^{-53} \text{ м}/\text{кг} \cdot \text{с}^2$$

для всего комплекса данных.

Принятая в настоящее время модель (с темной материей) требует индивидуальной подборки вида распределения темной материи для каждой галактики в близлежащих и удаленных от нее областях. Модель, рассмотренная в работах [5, 6], также не универсальна и требует корректировок для объектов разного типа. Удивительно, что в предлагаемой нами модели вся совокупность кривых описывается одной зависимостью от расстояния, несмотря на то, что в функцию входят степенные члены, а исходные данные представлены разнородными объектами. Мы рассматриваем этот факт как довод в пользу предложенной модели.

Полученное значение G_2 близко к опубликованному в работе [17] $K = 1.7 \cdot 10^{-31} \text{ м}^2/\text{кг} \cdot \text{с}^2$. Различия в значениях, возможно, связано с тем, что мы использовали существенно больший объем выборки. Кроме того, наша формула скорости несколько отличается от приведенной в [17] — мы учли член $G_1 R$ в формуле скорости. В работе [17] указано, что «формула может быть расширена добавлением линейной зависимости, хотя непонятно зачем». В нашей работе такой член является неотъемлемой частью модели, а его происхождение естественно. В работе [17] со ссылкой на [18] указано, что в случае использованных нами потенциалов теорема вириала может не выполняться.

3.2. Результаты расчета кривых вращения галактик

В табл. 2 представлены данные по расчетным значениям размеров ядер галактик и их расчетным массам, определенные путем подгонки форм соответствующих кривых при указанных выше фиксированных значениях коэффициентов G_i .

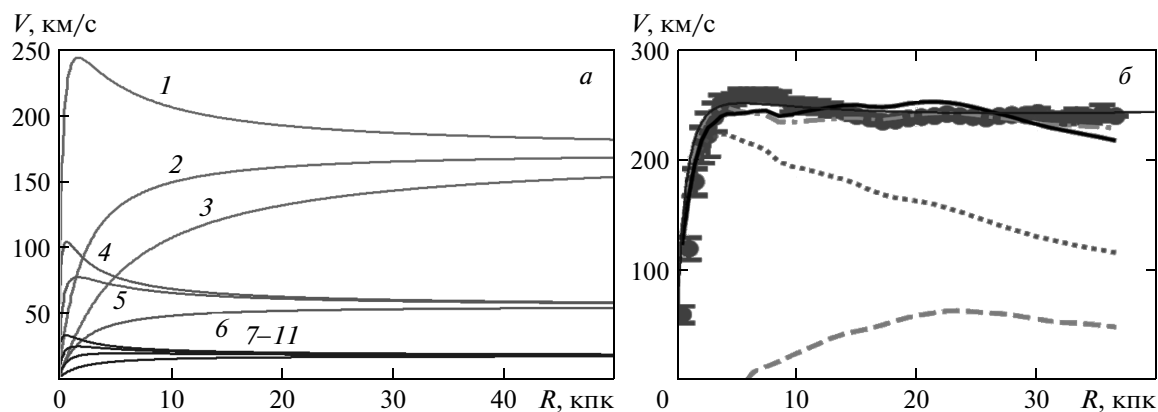


Рис. 1. а) Примеры расчетных кривых вращения для различных значений исходных данных (R — расстояние от центра галактики, V — орбитальная скорость). Значения подгоночных параметров: $M = 1 \cdot 10^{41}$ кг; $R = 2 \cdot 10^{19}$ м, $1 \cdot 10^{20}$ м, $2 \cdot 10^{20}$ м (кривые 1–3); $M = 1 \cdot 10^{40}$ кг; $R = 1 \cdot 10^{19}$ м, $2 \cdot 10^{19}$ м, $1 \cdot 10^{20}$ м (кривые 4–6); $M = 1 \cdot 10^{39}$ кг; $R = 1 \cdot 10^{19}$ м, $2 \cdot 10^{19}$ м, $5 \cdot 10^{19}$ м, $1 \cdot 10^{20}$ м (кривые 7–11). Значения коэффициентов G_2 , G_1 приведены в тексте. б) Пример кривой вращения галактики NGC 7331. Исходный график для расчетов взят из работы [6]. Приняты значения подгоночных параметров: масса $1.8 \cdot 10^{41}$ кг, радиус ядра $4.1 \cdot 10^{19}$ м. Точками с величиной погрешности представлены наблюдаемые данные, сплошной тонкой линией — результаты расчета по предлагаемой модели. Сплошная жирная линия соответствует расчетам по модели MSTG, светлая штрихпунктирная — модели MOND, штриховая — горячему газу в диске (водород и гелий в совокупности), точечная — светящийся звездный диск

3.3. Оценка применимости расчетной модели к крупномасштабным объектам

Скопления галактик — это следующие после галактик по размерам астрономические объекты. По Стандартной Космологической Модели скопления галактик являются самыми большими гравитационно-связанными структурами Вселенной.

Вокруг ближайших к нашей Галактике соседей — Местной группы галактик — на расстоянии порядка 3 Мпк имеется 22 карликовые галактики, образующие местный хаббловский поток, убегающий от центра масс.

В работе [19] данные по скоростям «потока убегающих» проанализированы на основе предположений о темной материи. На рис. 2 приведена диаграмма из этой работы, здесь же отображен результат расчетов на основе нашей модели без какого-либо изменения (за исключением подбора M и R). Видно, что наши данные лучше описывают характер изменения скоростей, хотя имеющийся разброс наблюдательных данных не позволяет сделать выбор в пользу одной из этих моделей.

Очень показателен пример одного из самых больших скоплений галактик — El Gordo (ACT-CL J0102-4915) [20]. В нем отдельные галактики движутся со скоростью до 1390 км/с, из чего делается вывод о массе скопления $1.6 \cdot 10^{15} M_{\odot}$, т. е. $4.4 \cdot 10^{45}$ кг.

Однако по формуле (4), примененной без каких-либо изменений (кроме подбора соответствующих M и R), такой скорости соответствует масса всего лишь $2.7 \cdot 10^{42}$ кг.

В этой же работе [20] приведены данные по светимости скопления: $L = 2.2 \cdot 10^{45}$ эрг/с. В предположении, что соотношение масса/светимость одинаково для горячего газа и звезд и, приняв светимость Солнца за $3.86 \cdot 10^{33}$ эрг/с, получим, что скопление галактик должно состоять из $5.7 \cdot 10^{11}$ звезд, что соответствует массе $2.1 \cdot 10^{42}$ кг. Таким образом, полученные нами значения масс почти точно соответствуют массе, рассчитанной из светимости, тогда как модель с привлечением темной материи завышает массу скопления почти на три порядка величины.

Считается, что сверхскопления галактик не являются гравитационно-связанными, поскольку на таких огромных расстояниях ньютоновы силы чрезвычайно малы и ничто не удерживает их от разлета. На этом масштабном уровне особенно проявляются проблемы моделей с «темными сущностями», поскольку модель должна обеспечивать наличие огромного количества темной материи. В рамках предлагаемой модели, очевидно, гравитационная связь существует (формула (3) при $i = 1$ и $i = 2$) без предположений о наличии темных сущностей.

В последние десятилетия установлено наличие самых крупномасштабных объектов Вселенной —

Таблица 2. Расчетные значения радиусов ядер, масс галактик и асимптотических скоростей вращения

Галактика	Расчетное значение гравитационного радиуса, 10^{19} м	Расчетное значение массы галактики, 10^{40} кг	Расчетное значение V , км/с
DDO 154	9.0	1.1	54.8
DDO 168	8.0	1.7	71.44
DDO 170	13.0	2.6	88.35
F563-1	11.0	5.2	124.95
F568-3	15.0	7.0	144.97
F571-8	12.7	9.9	172.40
F583-1	13.0	4.0	109.58
F583-4	9.7	2.4	84.88
NGC 55	11.0	4.0	109.58
NGC 247	11.0	5.1	123.74
NGC 300	9.0	3.8	106.8
NGC 801	4.0	15.0	212.21
NGC 1560	13.0	3.7	105.39
NGC 2403	6.5	6.0	134.2
NGC 2841	3.6	25.0	273.96
NGC 2903	3.1	10.0	173.27
NGC 2998	5.5	14.0	205.01
NGC 3109	1.8	4.7	118.79
NGC 3198	6.0	7.7	152.04
UMa: NGC 3726	10.0	9.7	170.65
UMa: NGC 3769	5.7	4.6	117.52
UMa: NGC 3877	9.9	13.0	197.56
UMa: NGC 3893	4.0	9.0	164.38
UMa: NGC 3917	12.0	9.5	168.88
UMa: NGC 3949	8.0	11.0	181.72
UMa: NGC 3953	7.5	18.0	232.46
UMa: NGC 3972	11.0	9.0	164.38
UMa: NGC 3992	5.0	20.0	245.04
UMa: NGC 4010	14.0	9.0	164.38
UMa: NGC 4013	4.0	9.7	170.65

Таблица 2. Продолжение

Галактика	Расчетное значение гравитационного радиуса, 10^{19} м	Расчетное значение массы галактики, 10^{40} кг	Расчетное значение V , км/с
UMa: NGC 4051	8.0	9.5	168.88
UMa: NGC 4085	9.0	8.7	161.61
UMa: NGC 4088	8.0	11.0	181.72
UMa: NGC 4100	6.0	9.0	164.38
UMa: NGC 4138	3.0	5.0	122.52
UMa: NGC 4157	7.0	13.1	198.31
UMa: NGC 4183	9.0	5.0	122.52
UMa: NGC 4217	7.5	12.0	189.81
UMa: NGC 4389	1.2	7.0	144.97
NGC 5033	3.0	12.0	189.81
NGC 5533	3.0	19.0	238.8
NGC 5585	1.0	3.5	102.5
NGC 6503	4.0	4.0	109.6
NGC 6674	3.0	19.5	241.96
NGC 6946	9.0	10.0	173.27
NGC 7331	4.5	18.0	232.46
UGC 2259	5.7	2.6	88.3
UGC 2885	3.0	27.0	284.7
UMa: UGC 6399	1.2	4.7	118.79
UMa: UGC 6446	8.0	2.7	90.03
UGC 6614	6.0	13.0	197.56
UMa: UGC 6667	12.0	4.5	116.23
UMa: UGC 6818	16.0	4.4	114.93
UMa: UGC 6917	11.0	5.7	130.81
UMa: UGC 6923	9.0	3.5	102.51
UMa: UGC 6973	3.7	8.0	154.98
UMa: UGC 6983	9.0	4.5	116.23
UMa: UGC 7089	17.0	4.7	118.79

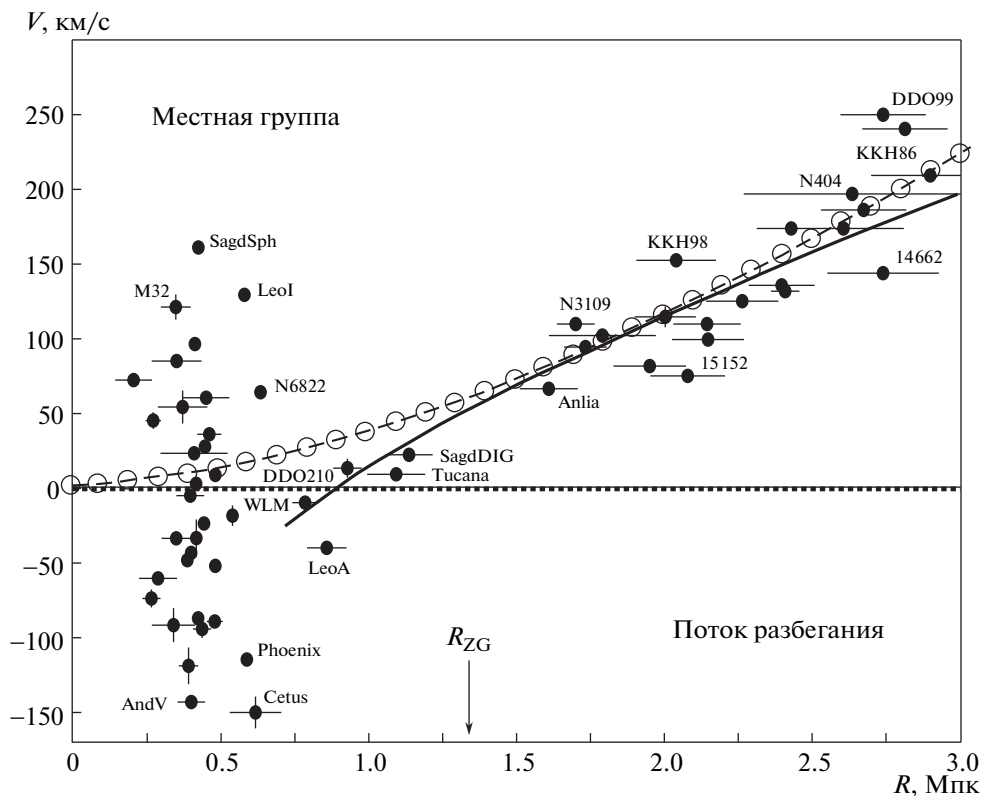


Рис. 2. Диаграмма скорость–расстояние для Местной группы галактик (из работы [19]). Штриховая кривая с кружками — результат расчета по предлагаемой нами модели. $R_{core} = 4 \cdot 10^{23}$ м, $M = 2 \cdot 10^{42}$ кг

сгущений, стен пустот, нитей. В предлагаемой модели наличие таких объектов можно объяснить тем, что в ранние периоды развития Вселенной они сформировались под действием одно- и двумерных сил.

Экспериментально обнаружены также сверхбольшие аномалии одномерного характера.

1) Исследования WMAP [21] обнаружили, что «огромное количество скоплений галактик движутся в одном направлении со скоростью 1000 км/с в сторону 20° между Центавром и Vela, и это точно не темная материя». Это явление названо «темным потоком», а в качестве источника такого направленного движения предложено существование некоего центра притяжения. Однако непонятна его избирательность в формировании именно потока и в отсутствии влияния на другие соседние объекты.

2) Имеются свидетельства слабой неоднородности реликтового излучения, носящие также одномерный и направленный характер, что не соответствует принципам Стандартной Космологической Модели.

Мы полагаем, что причиной этих явлений может быть реликтовое направленное движение, сформиро-

ванное первоначально одномерным расширением Вселенной.

Недавно появилось сообщение об открытии «Гигантской группы квазаров» [22] — самого крупного объекта наблюдаемой Вселенной (предположительно, $1/20$ размера Вселенной). Приводимые сведения о его размере и массе противоречат, с одной стороны, утверждению, что на больших масштабах Вселенная плоская, а с другой стороны, непонятно, как в рамках классической модели учесть его очевидную гравитационную связность, причем объяснить эти несоответствия не помогает и привлечение темных существ. В рамках предлагаемой нами модели формирование такого типа объектов получает естественное объяснение действием одно- и двумерных гравитационных сил.

На рис. 3 представлены рассчитанные по формуле (4) зависимости орбитальных скоростей крупнейших астрономических объектов от их массы. Видно, что характерным для скоплений орбитальным скоростям галактик соответствует диапазон масс $1 \cdot 10^{41} - 1 \cdot 10^{43}$ кг, что соответствует диапазону масс,

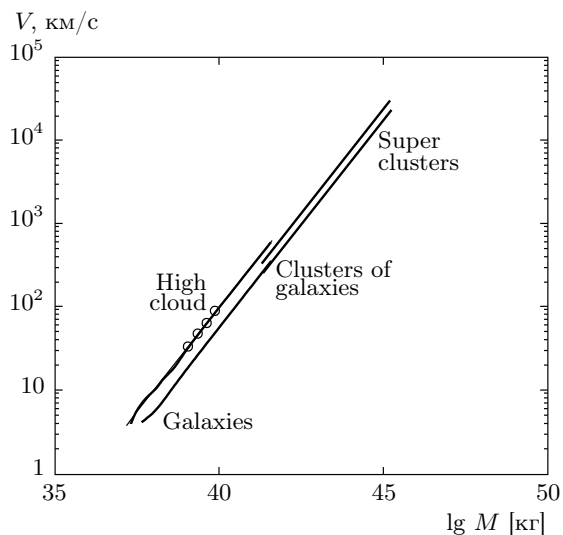


Рис. 3. Расчетные зависимости орбитальных скоростей от масс объектов

определяемых по светимости, и на 1.5–3 порядка меньше официально публикуемых. С учетом того, что опубликованные данные содержат добавки темной материи, полученные по нашей модели данные близки к значениям барионных масс.

4. ОБСУЖДЕНИЕ

Мы не можем сопоставить полученные значения масс галактик с известными астрономическими данными по причине того, что опубликованные данные, по устоявшейся традиции, завышены на величину массы так называемой темной материи и не могут быть выделены в явном виде. Большая часть этих данных получена из измерений гравитационного линзирования и также содержит в себе компонент, соответствующий темной материи. В рамках настоящей работы масса галактики является свободным параметром, однако при отсутствии темной материи должна быть приблизительно связана со светимостью галактики с помощью соотношения масса/светимость для обычной материи. На рис. 4 представлена такая зависимость по нашим данным. Видно, что вся совокупность данных следует указанному соотношению, включая и данные по карликовым галактикам, в которых обычно предполагается очень высокая концентрация темной материи.

Расчетные значения размеров ядер галактик не обнаруживают какой-либо корреляции с известными нам параметрами. Однако оказывается неожиданным, что все они находятся в достаточ-

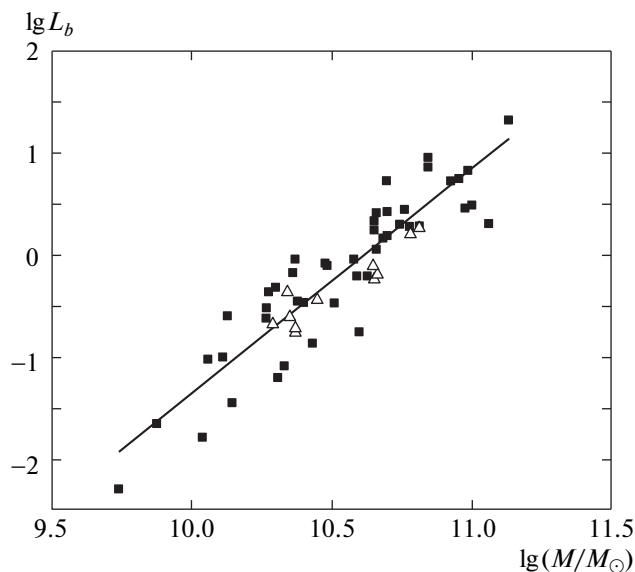


Рис. 4. Соотношение масса–светимость для расчетных значений масс галактик: треугольники — данные по карликовым галактикам; квадраты — по всем остальным

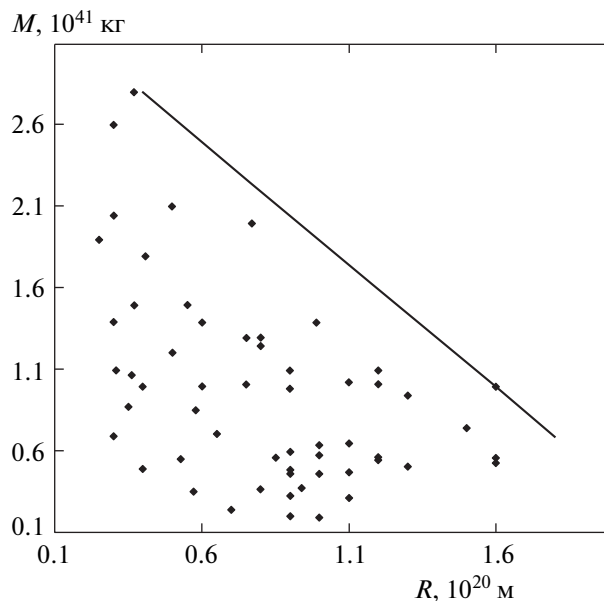


Рис. 5. Рассчитанные размеры ядер галактик (точки) в зависимости от массы галактик

но узком, всего лишь шестикратном, диапазоне $3 \cdot 10^{19}$ – $1.8 \cdot 10^{20}$ м (рис. 5), причем разброс размеров ядер снижается при увеличении масс галактик. Особенностью данных является четкое разделение на две области, причем все рассчитанные значения

для всей совокупности галактик размещаются в одной из областей, тогда как во вторую не попало ни одной галактики. Это удивительно, поскольку исходная модель не содержит предпосылок для такой группировки наблюдательных данных и допускает описание объектов в «пустой» области, а из выборки в 60 галактик хотя бы несколько должны были попасть в эту область.

При полученном нами значении G_2 равенство сил «двумерной» гравитации и ньютоновских гравитационных сил наступает при значении размерного параметра $R = 2.2 \cdot 10^{20}$ м, что очень хорошо соответствует предельному максимальному значению рассчитанных размеров ядер. В нашей модели это означает, что при увеличении размеров ядра сверх этого значения «двумерные» силы, превышая ньютоновские, приводят к «растаскиванию» ядра и способствуют образованию анизотропной квазидвумерной структуры галактик. Следствием этого является повышение центробежных сил, усиливающих эффект растаскивания ядра и, соответственно, уменьшение его размеров.

Таким образом, в рамках нашей модели, формирование геометрии галактики происходит под действием четырех сил: центробежной, классической ньютоновской и «одно- и двумерной гравитационной». Наличие такого механизма не требует привлечения небулярной гипотезы происхождения форм галактик, поскольку является неотъемлемой и постоянно действующей характеристикой самого пространства.

На настоящий момент причины образования структуры спиральных галактик однозначно неизвестны. Если применительно к звездным системам (в частности, солнечной) анизотропию структуры объясняют небулярной гипотезой, то в применении к галактикам, в состав которых входит порядка 10^9 – 10^{11} звезд, такой механизм неприемлем. В рамках наших предположений стремление структуры галактик с увеличением их массы к анизотропии может быть объяснено спецификой гравитационного взаимодействия.

Следует обратить внимание на то, что при наблюдаемых явных отклонениях от кеплеровского характера распределения скоростей в плоскости спиральных галактик таких отклонений не обнаруживается в направлениях, перпендикулярных плоскости, т. е. в этих направлениях действует обратнo-квадратичный закон Ньютона. Полученные значения скоростей и масс (см. табл. 2) удовлетворяют соотношению Талли–Фишера (рис. 6) в гораздо большей степени, чем данные работ [5, 6].

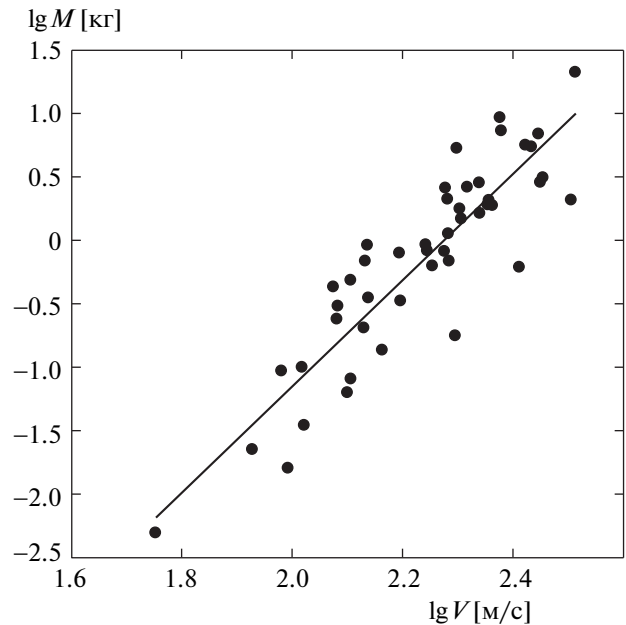


Рис. 6. Соотношение Талли–Фишера — зависимость наблюдательной орбитальной скорости от определенных в результате подгонки масс галактик; $y = 4.191x - 9.529$, $\chi^2 = 0.801$

В предлагаемом нами описании сохраняются непрерывность пространства и времени, поэтому, согласно теореме Нётер, понятия интегралов движения, в частности энергии и импульса, вполне применимы. У нас нет оснований отказываться также от общепринятых определений, понятий и величин при рассмотрении поведения систем в пространствах пониженного числа измерений.

Для рассматриваемых нами систем (сферически-симметричных в трехмерном пространстве и с симметрией диска в двумерном случае) из уравнения Пуассона или из закона Гаусса для напряженности получаются следующие выражения для потенциальной энергии:

$$W = \gamma_1 M m R \tag{6}$$

для метрики (1+1),

$$W = \gamma_2 M m \ln(R/R_0) \tag{7}$$

для метрики (1+2),

$$W = -\gamma_3 M m / R \tag{8}$$

для метрики (1+3), где γ_i — константы взаимодействия в i -мерном пространстве, $\gamma_3 = 4\pi G_3$. С гравитационными постоянными G_i , использованными в формуле (4), величины γ_i связаны через коэффициенты теоремы Гаусса–Остроградского (теоремы

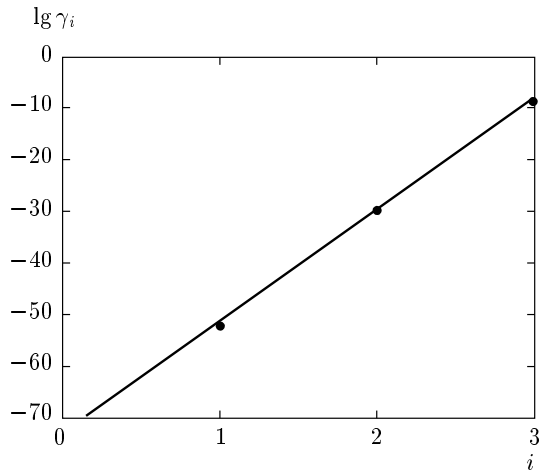


Рис. 7. Численные значения коэффициентов γ_i при различных размерностях пространства; $y = 21.873720x - 95.977418$, $\chi^2 = 0.999462$. Значения коэффициентов γ_i имеют различную размерность: γ_1 [м/кг·с²], γ_2 [м²/кг·с²], γ_3 [м³/кг·с²]

о дивергенции), которые для ньютоновского гравитационного потенциала и для двумерного гравитационного потенциала имеют вид

$$\oint_s g ds = -4\pi G_3 M, \quad \oint_r g dr = -2\pi G_2 M. \quad (9)$$

Таким образом, можно записать

$$\gamma_1 = G_1, \quad \gamma_2 = 2\pi G_2, \quad \gamma_3 = 4\pi G_3. \quad (10)$$

Величины γ_i имеют различные размерности, однако интересно установить связь между ними. На рис. 7 приведены их числовые значения в зависимости от размерности пространства. Удивляет очень большая величина коэффициента корреляции полученных из наблюдательных данных значений и размерности пространства. Такая корреляция не может быть случайной. Собственно, такого «поведения» констант мы и ожидали в рамках нашей модели, если учесть необходимость гладкой сшивки пространств различной размерности в уравнениях (4), (5).

С точки зрения методики проведения расчетов кривых вращения галактик это означает снижение количества введенных в расчеты постоянных (G_1 , G_2) до одного — характеристической величины, имеющей размерность длины и равной $(7.4 \pm 0.5) \cdot 10^{21}$ м. Представляет интерес выяснение физического смысла этой величины. Поскольку именно на этом размере возникает расчетная необходимость сшивки размерности пространств, мы вправе предположить,

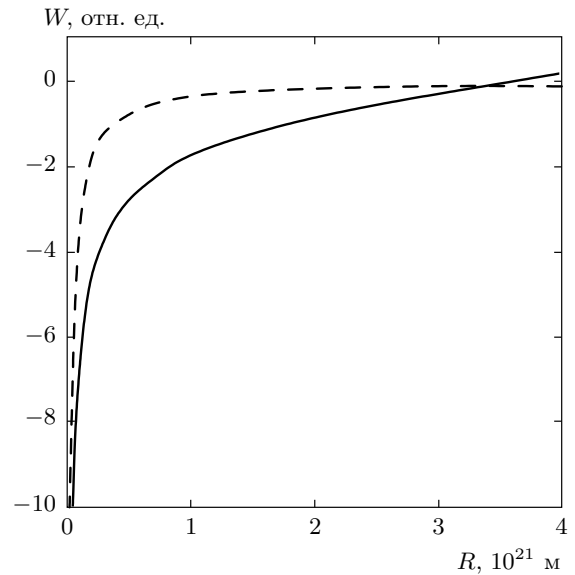


Рис. 8. Характер изменения потенциальной энергии системы при различных размерностях пространства: сплошная кривая — сводный потенциал нашей модели, штриховая — потенциал Ньютона

что этому размеру соответствует преобразование метрики пространства (3+1) в совокупность (2+1) и (1+1), т.е. происходит расщепление симметрии $SO(3, 1) \Rightarrow SO(2, 1) \otimes O(1, 1)$.

Полученное значение близко к найденному в работе [23] «радиусу нулевого тяготения, т.е. расстоянию, на котором тяготение темной материи компенсируется антитяготением темной энергии» — 1.5 Мпк.

Рассмотрим зависимость от расстояния потенциала Ньютона и потенциала нашей модели, представляющего собой сумму гравитационных потенциалов различной размерности пространства-времени (рис. 8). Видно, что в диапазоне расстояний $1 \cdot 10^{19} - 3.7 \cdot 10^{21}$ м совокупный потенциал ниже ньютонова. Этот диапазон расстояний в точности перекрывает диапазон найденных нами значений гравитационных радиусов галактик (см. табл. 2), тем самым объясняется возможность существования галактик как устойчивых гравитирующих объектов в силу энергетической выгоды, их особой симметрии в силу специфической симметрии потенциала и регулярного нарушения закона Ньютона именно в этом диапазоне.

Эта же зависимость (рис. 8) позволяет объяснить причину того, что данные гравитационного линзирования по расположенным близко друг к другу галактикам иногда выглядят таким образом, как

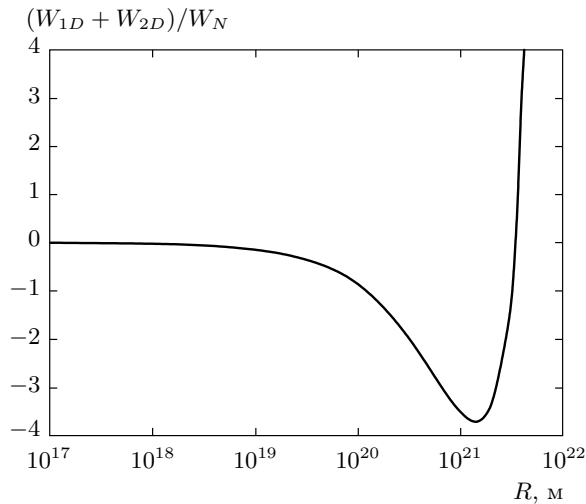


Рис. 9. Доля отклонения суммы одномерной (W_{1D}) и двумерной (W_{2D}) энергии гравитации от закона Ньютона W_N в зависимости от расстояния

будто темная материя концентрируется между ними. В рамках нашей модели такой эффект должен наблюдаться при расстояниях между галактиками 10^{19} – 10^{21} м, причем наиболее ярко в условиях, когда диски галактик расположены близко к одной плоскости.

Таким образом, асимметрия структуры объектов непосредственно связана с асимметрией типа взаимодействия.

При расстояниях более $4 \cdot 10^{21}$ м восстанавливается трехмерность пространства (см. рис. 8), при расстояниях менее $1 \cdot 10^{19}$ м влияние гравитационных сил пониженной размерности становится пренебрежимо малым, это отображено на рис. 9 как доля нетрехмерных потенциалов по отношению к ньютоновскому.

В настоящий момент в Стандартной Космологической Модели делаются предположения, что в роли расталкивающего фактора выступает энергия вакуума.

Обратим внимание на изменение знака потенциальной энергии с изменением расстояния в соответствии с формулами (6)–(8), которое приводит к предположению о том, что на роль «расталкивающей» энергии Вселенной (энергии вакуума) может претендовать гравитационная энергия ее расширения в пространствах малых измерений. Это согласуется с данными работы [24], где при рассмотрении динамики Млечного пути показано, что присутствие темной материи не требуется, если радиальное распределение потенциала соответствует $\ln R$.

Таким образом, мы предлагаем механизм, не требующий привлечения неясной природы темной материи и «темной энергии»: расширение Вселенной в пространствах малых измерений, сопровождающееся снижением потенциальной энергии, компенсирует гравитационную составляющую более высокоразмерных образований.

5. ВЫВОДЫ

Кривые вращения эллиптических и спиральных галактик в широком диапазоне масс могут быть описаны в предположении, ранее высказанном Эренфестом, о масштабозависимом изменении размерности пространства, в ньютоновском виде.

Для пространств, размерность которых ниже $(3+1)$, определены величины постоянных гравитационного взаимодействия

$$G_2 = (2.7 \pm 0.4) \cdot 10^{-31} \text{ м}^2/\text{кг} \cdot \text{с}^2,$$

$$G_1 = (3.0 \pm 1.0) \cdot 10^{-53} \text{ м}/\text{кг} \cdot \text{с}^2.$$

Определен характеристический размер, на котором происходит перестройка пространственной симметрии с понижением размерности пространства:

$$(7.4 \pm 0.5) \cdot 10^{21} \text{ м}.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. F. Zwicky, *Astroph. J.* **86**, 217 (1937).
2. И. Ф. Гинзбург, *УФН* **179**, 525 (2009).
3. M. Milgrom, *Astroph. J.* **270**, 365 (1983).
4. J. D. Bekenstein, *Phil. Trans. Roy. Soc. London A* **369**, 5003 (2011).
5. J. W. Moffat, *arXiv.org>astro-ph>arXiv:astro-ph/0412195v3*.
6. J. R. Brownstein and J. W. Moffat, *Astroph. J.* **636**, 721 (2006).
7. С. В. Сипаров, *Гиперкомплексные числа в геометрии и физике* **2**(10), 5, 64 (2008).
8. А. В. Юров, В. А. Юров, С. В. Червон, М. Сами, *ТМФ* **166**, 299 (2011).
9. A. Beesham, S. V. Chervon, S. D. Maharaj, and A. S. Kubasov, *Quantum Matter* **2**, 388 (2013).
10. В. А. Рубаков, *УФН* **171**, 913 (2001).

11. R. Penrose, *General Relativity and Gravitation* **28**, 581 (1996).
12. G. Vimonte, R. Musto, A. Stern, and P. Vitale, *Int. J. Mod. Phys. A* **13**, 4023 (1998).
13. E. Witten, *Nuclear Phys. B* **311**, 46 (1988/89).
14. S. Carlip, arXiv:1009.1136v1 [gr-qc] (2010).
15. А. В. Коганов, В. Г. Кречет, *Компьютерные исследования и моделирование* **4**, 597 (2012).
16. P. Ehrenfest, *Proc. Amsterdam Acad.* **20**, 200 (1917).
17. А. А. Римский-Корсаков, *Труды Радиового института им. В. Г. Хлопина* **X**, 65 (2003).
18. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, *Теоретическая физика*, т. 1, Наука, Москва (1973), с. 35.
19. А. Д. Чернин, *УФН* **178**, 267 (2008).
20. F. Menanteau, J. P. Huges, C. Sifon et al., arXiv:1109.0953.
21. A. Kahlinsky, F. Atrio-Barandela, D. Kocevski, and H. Ebeling, *Astrophys. J. Lett.* **686**, L49 (2008).
22. R. G. Clowes, K. A. Harris, S. Raghunathan et al., *Month. Not. Roy. Astron. Soc.* **429**, 2910 (2013).
23. А. Д. Чернин, *Письма в ЖЭТФ* **98**, 394 (2013).
24. W. F. Kao and R.-T. Yu, arXiv:astro-ph/0008268v1.