

УДК 524.7.-327; 524.7-33

Г. А. Щелканова^{1,2}, С. И. Блинные^{1,2,3}, А. С. Сабурова³, А. Д. Долгов^{1,2,4}

¹ Новосибирский государственный университет
ул. Пирогова, 2, Новосибирск, 630090, Россия

² Институт теоретической и экспериментальной физики
ул. Большая Черемушкская, 25, Москва, 117218, Россия

³ Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга
Московского государственного университета
пр. Университетский, 13, Москва, 119991, Россия

⁴ Dipartimento di Fisica, Universita di Ferrara, and INFN
I-44124 Ferrara, Italy

E-mail: mikgalina@gmail.com

ТЕСТИРОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМНОЙ МАТЕРИИ В ГАЛАКТИКАХ

Разные численные и аналитические модели темной материи (ТМ) дают несовпадающие предсказания о поведении плотности ТМ в центрах галактик. Для четырех галактик низкой поверхностной яркости в настоящей работе проведено сравнение трех моделей (NFW, Moore и Burkert) распределения ТМ с различной степенью сингулярности в центре или без нее. Вопреки утверждениям в литературе, по результатам фитирования наблюдаемых кривых вращения пока нельзя говорить об однозначном предпочтении какой-либо одной из моделей. Для двух из четырех галактик наивысшими уровнями значимости обладает модель NFW, а для других двух – модель Burkert. Моделирование проведено также с учетом критерия маргинальной гравитационной устойчивости дисков. Сравнение с фотометрическими данными показывает, что диски рассматриваемых галактик, возможно, перегреты, поскольку моделирование без учета этого критерия дает лучшее согласие с фотометрическими данными и лучшие значения хи-квадрат для кривых вращения.

Ключевые слова: темная материя, кривые вращения, гравитационная устойчивость.

Введение

В рамках модели Λ CDM выдвигаются различные гипотезы о природе частиц темной материи (ТМ) и на их основе выводятся распределения ТМ в галактиках. Весьма важным является вопрос о поведении плотности ТМ в центрах галактик, поскольку результаты аналитического [1] и численного моделирования говорят о каспе, т. е. о сингулярности плотности в центре (англ. cusped density profile). Численное моделирование

см. в работах Наварро, Френка и Уайта [2], ниже NFW, и Мура [3]. Возможно сглаживание этой сингулярности в процессе эволюции галактик с доминированием барионов ([4; 5]) и отсутствие сглаживания у галактик низкой поверхностной яркости [6]. Есть аргументы в пользу того, что сглаживание происходит и в самой ТМ без барионов [7]. Наблюдатели-астрономы (например, Салуччи и соавторы, см. [8] и ссылки там) склоняются в сторону несингулярных гало ТМ (cored density profile), когда асимптоти-

* Работа выполнена при поддержке грантов Правительства Российской Федерации (№ 11.G34.31.0047), Научных школ (5440.2012.2, 3205.2012.2).

А. С. Сабурова выражает благодарность фонду «Династия» и РФФИ (грант № 12-02-31452).

ка плотности в центре выходит на постоянное значение. Более того, некоторые авторы (в частности, из той же группы Салуччи, см. [9; 10]) утверждают, что на статистически значимом уровне наблюдения профиль NFW [2] можно отвергнуть. С другой стороны, некоторые исследователи используют сингулярный профиль ТМ для моделирования кинематики галактик низкой поверхностной яркости [11].

В ряде работ (см., например, [12; 13]) была получена корреляция радиуса ядра изотермического распределения ТМ с радиальной шкалой звездного диска, т. е. утверждается, что эта неслучайная зависимость является следствием несингулярного гало ТМ. Однако прямой проверки сингулярного гало (NFW, например) в этих работах не проводилось. То, что авторы изначально предполагали, что все галактики, вне зависимости от их типа и массы, обладают изотермическим распределением ТМ, не совсем корректно. В связи с этим вывод об универсальности поверхностной плотности темной и видимой материи, сделанный в работах [12; 13], оспаривается Дел Пополо и другими [14].

В итоге вырисовывается проблема противоречия наблюдательных данных и численных моделей (core / cusp problem), хорошо описанная в работе [15]. Для ее решения необходим как более подробный анализ наблюдаемых кинематических данных, так и учет дополнительных факторов в численных моделях.

В данной работе мы сравнили три различные модели, описывающие распределение плотности ТМ галактик. В качестве метода сравнения моделей ТМ использован статистический анализ на основе наблюдательных данных о скоростях вращения галактик и их поверхностной яркости. Объектами нашего исследования являются галактики низкой поверхностной яркости ESO 234-13, ESO 186-55, ESO 206-14 и ESO 400-37. Сферическое гало ТМ моделируем исходя из профилей плотности, предложенных Наварро, Френком и Уайтом [2], Буркертом [16] и Муром [3].

Таким образом, в сравнении участвуют два распределения плотности с сингулярностью в центре и один несингулярный профиль ТМ гало. В отличие от некоторых работ, например [17], мы не полагаем, что ТМ доминирует в гравитационном потенциале,

а учитываем для каждой галактики три компонента: балдж, диск и гало ТМ.

Моделирование кривой вращения

При моделировании кривых вращения помимо гало ТМ учтем вклад балджа и диска.

Для рассматриваемых галактик в работе [18] построены модели дисков с учетом критерия маржинальной гравитационной устойчивости. В каждой из галактик мы возьмем параметры диска с произвольной (получаемой в ходе фитирования) центральной поверхностной плотностью (модели I) и параметры дисков с фиксированной центральной поверхностной плотностью (модели II) из указанной статьи, кроме того рассмотрим крайний случай – без ТМ (модели III).

Сложим вклад трех компонент в круговую скорость вращения:

$$V_c(R) = \sqrt{K_h^2 \frac{H(R/r_s)}{R/r_s} + K_b^2 \frac{B(R/r_b)}{R/r_b} + K_d^2 t_d^2 (R/2r_d)},$$

$$K_d^2 = 4\pi G \sigma_0 r_d, \quad K_h^2 = 4\pi G \rho_s r_s^2,$$

$$K_b^2 = K_d^2 \frac{r_b}{2r_d} 10^{\delta\mu_b/2.5} \frac{(M/L)_b}{(M/L)_d},$$
(1)

где V_c – круговая скорость вращения в зависимости от радиуса R ; H и B – функции, пропорциональные массе внутри радиуса R ; t_d – комбинация модифицированных функций Бесселя для вклада экспоненциального диска (см. [19]); σ_0 – центральная поверхностная плотность диска; r_d – радиальная шкала диска; ρ_s и r_s – характерные плотность и радиус ТМ распределения; $\delta\mu_b$ – разница между центральной яркостью диска и балджа в звездных величинах; $(M/L)_d$ и $(M/L)_b$ – отношение массы к светимости для диска и балджа.

Данные для галактик низкой поверхностной яркости

Данные для галактик низкой поверхностной яркости мы взяли из работы [20]: на-

блюдаемые кривые вращения – из табл. 7, 8, фотометрические данные – из табл. 5. Для наблюдаемых кривых вращения мы сделали поправки на наклон и смещение оси измерений относительно большей полуоси галактики по следующим формулам:

$$R = X_1 \frac{\sqrt{\cos^2 \phi \cos^2 i + \sin^2 \phi}}{\cos i},$$

$$V_r = V_1 \frac{\sqrt{\cos^2 \phi \cos^2 i + \sin^2 \phi}}{\sin i \cos i \cos \phi},$$
(2)

где R – расстояние до центра в плоскости галактики; X_1 – измеренное расстояние; V_r – исправленная круговая скорость; V – наблюдаемая скорость относительно центра галактики; i – наклон галактики; ϕ – угол смещения оси измерений относительно большей полуоси галактики. Ошибки для круговых скоростей тоже были исправлены по формулам (2). Также для данных по кинематике звезд были сделаны поправки на асимметричный дрейф из работы [19]:

$$V_c^2 =$$

$$= V_r^2 + c_r^2 \left(0,5 \frac{d(\ln V_r)}{d(\ln R)} - 0,5 + R/r_d - \frac{d(\ln c_r^2)}{d(\ln R)} \right),$$

где V_c и V_r – круговая и наблюдаемая (исправленная по формуле (2)) скорости вращения; c_r – радиальная дисперсия скоростей; r_d – радиальная шкала диска.

Для галактик ESO 234-13, ESO 186-55 и ESO 206-14 мы использовали только данные по кинематике звезд, так как разброс скоростей вращения газовых составляющих, наблюдающийся вследствие значительных некруговых движений газа, не отражает реальных кривых вращения этих галактик. На рисунке (см. ниже) показаны примеры результатов фитирования кривых вращения. Для наглядности незакрашенными окружностями показаны газовые скорости вращения, неиспользованные в процессе фитирования кривых вращения указанных галактик. Для галактики ESO 400-37 в работе [20] по звездным данным было получено всего 5 точек (для остальных галактик – от 16 до 20 точек), в то время как разброс газовых

скоростей гораздо меньше по сравнению с другими галактиками (см. рисунок). Исходя из этих соображений для галактики ESO 400-47 мы использовали оба типа данных.

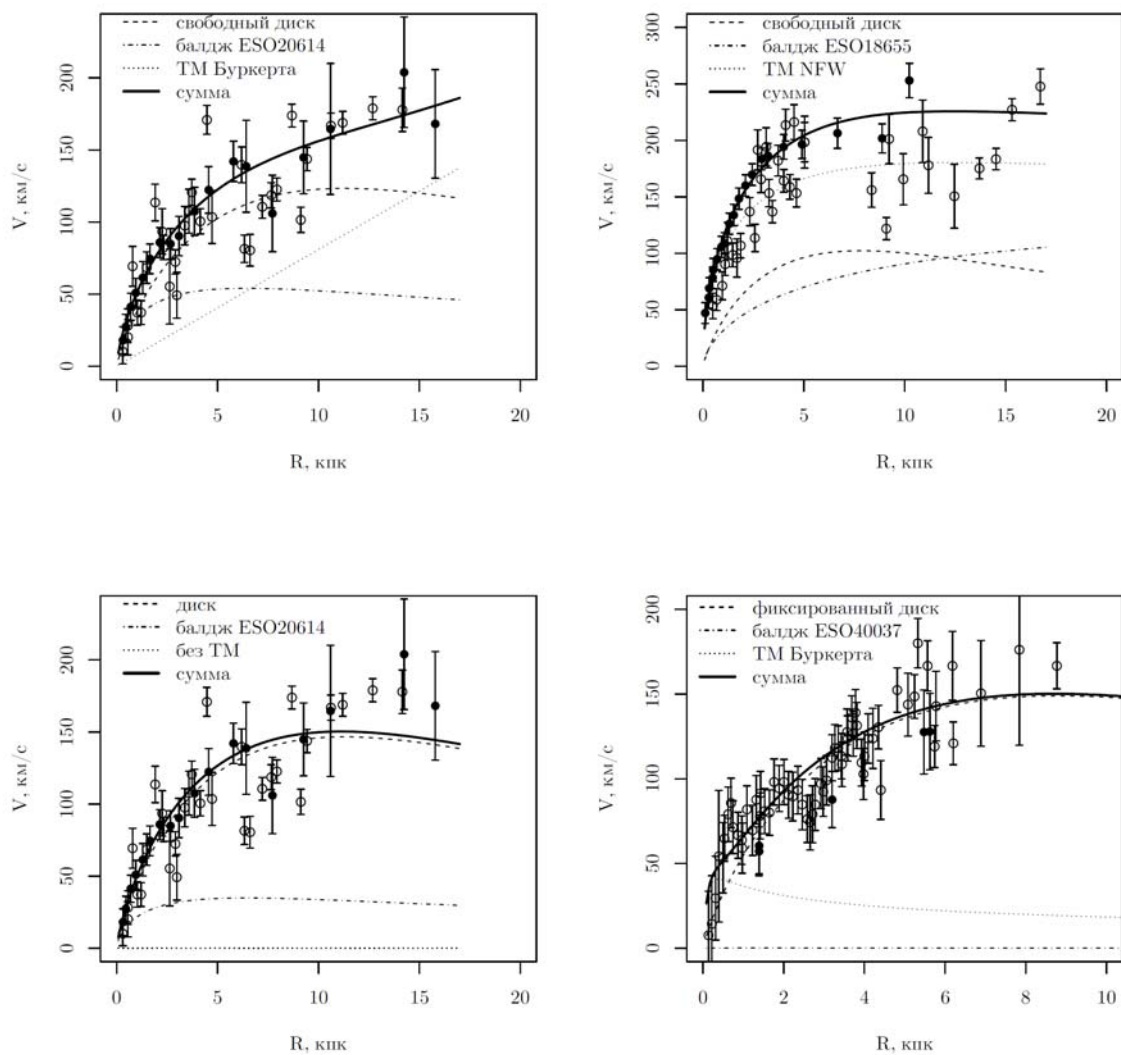
Для моделирования кривых вращения с учетом критерия маргинальной гравитационной устойчивости дисков нам потребуются центральная поверхностная плотность экспоненциального диска σ_0 , полученная в работе [18] по этому критерию. В табл. 1 приведены значения σ_0 , а также значения радиальных шкал дисков и расстояний до рассматриваемых галактик низкой поверхностной яркости.

Результаты фитирования

кривых вращения галактик низкой поверхностной яркости

Для галактик низкой поверхностной яркости построены модели со свободным параметром K_d^2 , т. е. со свободным диском (I), и модели с фиксированным K_d^2 , т. е. с диском фиксированной центральной поверхностной плотности – фиксированным диском (II). Этот параметр вычисляется на основе данных табл. 1 с учетом формулы (1). Помимо этих двух моделей мы рассмотрели экстремальный случай, в котором ТМ отсутствует (III).

В табл. 2 приведены нормированные значения хи-квадрат для каждой из построенных моделей. Хи-квадраты для лучших моделей выделены жирным шрифтом. В моделях I для свободного диска в первых двух галактиках меньший хи-квадрат дают модели с гало ТМ Наварро, Френка, Уайта. Причем для галактики ESO 234-13 модель с этим профилем плотности ТМ дает значительно лучший хи-квадрат по сравнению с остальными. Для галактики ESO 186-55 лучшее значение хи-квадрат близко к результату для модели с также сингулярным профилем Мура. Гипотезы о применимости рассмотренных моделей со свободным диском для ESO 234-13 и ESO 186-55 можно принять на уровнях значимости $\alpha = 89$ и 88% соответственно. Уровень значимости для применимости моделей Буркерта к двум другим галактикам (ESO 206-14 и ESO 400-37) составляет $\alpha = 99$ и 35% . При этом лучшие значения хи-квадрат близки к значени-



Примеры декомпозиций кривых вращения галактик, дающие наилучшие значения хи-квадрат. Черными кругами с барами ошибок показаны круговые скорости звезд, а незакрашенными окружностями – газовые скорости вращения

Таблица 1

Параметры фиксированных дисков и расстояния до галактик

Галактика	Поверхностная плотность диска $\sigma_0, 10^8 M_{\text{sun}}/\text{кпк}^2$	Радиальная шкала диска $r_d, \text{кпк}$	Расстояния до галактик $D, \text{Мпк}$
ESO 234-13	5,871	3,8	60,9
ESO 186-55	10,00	3,6	60,1
ESO 206-14	4,446	5,3	60,5
ESO 400-37	5,186	4,1	37,5

Таблица 2

Нормированные значения хи-квадрат χ_r^2

Модель ТМ	ESO *			
	234-13	186-55	206-14	400-37
I. Свободный диск, равные M/L				
NFW	0,56	0,62	0,43	1,07
Буркерт	0,93	0,91	0,36	1,06
Мур	0,99	0,67	0,58	1,23
II. Фиксированный диск, различные M/L				
NFW	0,95	0,68	0,51	1,21
Буркерт	0,98	0,84	0,50	1,19
Мур	1,13	0,66	0,51	1,20
III. Без ТМ, различные M/L				
	6,66	3,78	0,45	1,17

* Для ESO 400-37 приводятся суммарные данные, для остальных галактик – звездные данные.

ям, полученным для моделей с сингулярным профилем ТМ.

В моделях II для фитирования с фиксированным диском меньший хи-квадрат для каждой из галактик больше соответственного значения при фитировании со свободным параметром K_d^2 . Тем не менее в этих моделях, хотя и согласно малым различиям в хи-квадрат, прослеживается та же тенденция к предпочтению сингулярного профиля ТМ для первых двух галактик и несингулярного для двух последних.

Следует также отметить, что рассмотренный нами крайний случай – без ТМ, обладает уровнем значимости, близким к нулю, для галактик ESO 234-13 и ESO 186-55. В то же время для ESO 206-14 и ESO 400-37 его уровень значимости $\alpha = 97$ и 17% соответственно. Следовательно, мы не можем полностью исключить эту гипотезу для указанных двух объектов. Возможность объяснения наблюдаемых кривых вращения без учета ТМ была рассмотрена рядом авторов, в частности в работе [21], где удалось смоделировать кривые вращения большей части выборки из 74 спиральных галактик без включения ТМ. Однако этот вывод справедлив только для внутренних областей кривых вращения (областей оптической галактики), в то же время за пределами оптических границ кривые вращения галактик часто выходят на плато (см., например, [22]), а скорость вращения, соответствующая компоненте экспоненциального звездного диска,

начинает убывать. Таким образом, для объяснения наблюдаемых протяженных кривых вращения требуется или включить гало из ТМ, или предполагать, что плотность видимой материи не пропорциональна распределению ее яркости.

В табл. 3, 4 отражены результаты для лучших моделей ТМ, т. е. моделей, дающих наилучший хи-квадрат и реалистичные оценки плотности видимого диска. Кроме того, упомянуты поверхностные плотности дисков, полученные из фотометрических данных [20] с использованием отношения массы к светимости диска, соответствующего наблюдаемому показателю цвета и модельной зависимости M/L (цвет из работы [23]). В табл. 3 для значений, меньших 0,005 и больших 500 в соответствующих единицах, указан только порядок величин.

Плотность дисков в моделях I сравнима с результатами, полученными из фотометрических данных, и меньше, чем в моделях с учетом критерия маргинальной гравитационной устойчивости дисков.

Мы вычислили параметр концентрации c_{vir} и вириальный радиус для NFW-гало, поскольку применение распределения ограничивается центральной областью внутри данного радиуса. Для результатов моделей I применение распределения простирается за границы наблюдаемой кривой вращения. Значения параметра c_{vir} и M_{vir} согласуются с результатами моделирования эволюции гало ТМ в [24].

Таблица 3

Центральные поверхностные плотности и отношение массы к светимости для диска и балджа в лучших моделях ТМ *

ESO	ТМ	$M_{\text{sun}}/\text{кпк}^2$			M/L для диска и балджа	
		σ_{0ph}	σ_0	σ_{0b}		
I. Свободный диск, равные M/L						
234-13	NFW	148	130	180	1,3	
186-55	NFW	235	270	180	2,1	
206-14	Буркерт	68	280	160	5,2	
400-37	Буркерт	85	370	190	6,6	
II. Фиксированный диск, различные M/L						
234-13	NFW	148	590	10^{-5}	5,9	10^{-7}
186-55	Мур	235	1 000	130	7,8	1,6
206-14	Буркерт	68	440	10^{-4}	8,3	10^{-6}
400-37	Буркерт	85	520	10^{-3}	9,3	10^{-4}

* Значения σ_{0ph} диска получены из фотометрических данных, σ_0 диска и σ_{0b} балджа – в результате фитирования, значения M/L для диска и балджа выражены в солнечных единицах.

Таблица 4

Параметры темного гало *

ESO	ТМ	$\rho_s,$ $10^9 M_{\text{sun}}/\text{кпк}^3$	$r_s,$ кпк	μ_{0D}	$r_{\text{vir}},$ кпк	c_{vir}	$M_{\text{vir}}/M_{\text{sun}}$
I. Свободный диск, равные M/L							
234-13	NFW	0,34	3,1	–	23	7,4	$1,6 \cdot 10^{11}$
186-55	NFW	0,47	5,9	–	49	8,3	$1,6 \cdot 10^{12}$
206-14	Буркерт	26	7 100	39,8	–	–	–
400-37	Буркерт	1,9	210	33,6	–	–	–
II. Фиксированный диск, различные M/L							
234-13	NFW	0,41	0,98	–	7,8	7,9	$6,4 \cdot 10^9$
186-55	Мур	0,11	2,5	–	–	–	–
206-14	Буркерт	0,039	0,42	23,5	–	–	–
400-37	Буркерт	1,2	0,12	25,7	–	–	–

* ρ_s – характерная плотность распределения ТМ; значения μ_{0D} выражены в единицах $\ln(M_{\text{sun}}/\text{пк}^2)$; $c_{\text{vir}} = r_{\text{vir}}/r_s$.

Для гало ТМ Буркерта вычислено значение логарифма величины μ_{0D} , определенной в [13] как произведение $\rho_s r_s$. В этой работе получено

$$\lg(\mu_{0D}) = 2,15 \pm 0,2 \lg(M_{\text{sun}}/\text{пк}^2)$$

для несингулярных ТМ. Видим, что полученные нами значения находятся несколько выше указанного доверительного интервала.

На рисунке продемонстрированы примеры декомпозиций наблюдаемых кривых вращения трех галактик в рамках моделей, дающих наилучший хи-квадрат. Видим, что для галактики ESO 206-14 моделирование без учета ТМ занижает скорости вращения на периферии относительно наблюдаемых точек. Однако чтобы восполнить этот дефект, при моделировании с учетом ТМ Буркерта параметр распределения r_s полу-

чается слишком большим (см. табл. 4). На рисунке видим результирующий вклад ТМ Буркерта, превращающийся в почти прямую линию, проходящую через начало отсчета. Кстати, при моделировании кривой вращения для этой галактики в случае свободного диска все модели с различными профилями ТМ дают большие (более 100 кпк) значения параметра r_s .

Для сравнения видим форму вклада ТМ Буркерта с небольшим значением r_s (0,12 кпк) на примере моделирования кривой вращения галактики ESO 400-37 с фиксированным диском. В этом случае нехватка ТМ ожидается в центре галактики, в отличие от модели со свободным диском, где из табл. 4 опять видим большое значение параметра r_s , т. е. преобладание вклада ТМ на периферии.

Для ESO 186-55 наблюдаем значительный вклад ТМ в кривую вращения с характерным пологим профилем на периферии (где r_s в районе нескольких кпк, см. табл. 4).

Заключение

Если на больших расстояниях справедливы законы общей теории относительности, то ТМ неизбежно существует, и ее надо искать в виде реальных материальных объектов. ТМ, скорее всего, состоит из новых элементарных частиц, но, возможно, и из более экзотических объектов, таких как первичные черные дыры и даже необычные атомоподобные состояния или конденсаты Бозе. Но это должно быть сжимаемое, более или менее нормальное вещество, порождающее обычное тяготение. Альтернативные теории гравитации могут успешно описать только какой-то фрагмент, но не картину в целом.

Аккумуляция частиц темной материи в галактиках привела бы к усилению аннигиляции этих частиц. Фотоны высоких энергий – продукты аннигиляции, потенциально наблюдаемы (а может быть, уже зарегистрированы). При анализе этих наблюдений данные о распределении ТМ в галактиках, изучаемые в настоящей работе, являются первостепенно важными.

Мы начали систематическое изучение кривых вращения подробно наблюдавшихся

галактик с целью выявить, какая из моделей ТМ лучше описывает данные.

Пока трудно отдать предпочтение какой-либо из моделей для галактик низкой поверхностной яркости. Для двух из четырех рассмотренных галактик низкой яркости (ESO 234-13 и ESO 186-55) подходит сингулярное распределение ТМ, а для других двух (ESO 206-14 и ESO 400-37) – несингулярное. Причем в последнем случае различия между сингулярным и несингулярным распределениями незначительны.

Кроме того, на результат могут влиять такие факторы, как наличие некруговых движений газа на всем протяжении кривой вращения (для ESO 400-37) и большие погрешности данных, которые могут приводить к принципиальной невозможности пространственного разрешения пика сингулярности в центре.

В согласии с результатами для параметра концентрации c_{vir} [24] нами независимо и другим методом получено, что на уровне имеющейся точности данных стандартные CDM модели проходят, и нельзя говорить, что для объяснения кривых вращения галактик необходима сильная связь ТМ с барионной компонентой. При этом мы не находим подтверждения критике NFW и Λ CDM, высказанной в работах группы Салуччи ([8; 10]).

Кроме того, при сравнении результатов моделей I и II видим, что моделирование с фиксированным диском, параметры которого получены из критерия маргинальной гравитационной устойчивости в работе [18], завышает плотности дисков в сравнении с фотометрическими данными и дает большее значение хи-квадрат в сравнении с моделями без учета критерия маргинальной гравитационной устойчивости. Объяснением этого может служить предположение о динамическом перегреве дисков рассмотренных галактик, высказанное в работе [18].

Список литературы

1. Гуревич А. В., Зыбин К. П. Крупномасштабная структура Вселенной. Аналитическая теория // Успехи физических наук. 1995. Vol. 165. No. 7. P. 723–758.
2. Navarro J. F., Frenk C. S., White S. D. M. The Structure of Cold Dark Matter Halos // ApJ. 1996. Vol. 462. P. 563.

3. Moore B., Governato F., Quinn T. et al. Resolving the Structure of Cold Dark Matter Halos // *ApJL*. 1998. Vol. 499. P. L5.
4. Governato F., Brook C., Mayer L. et al. Bulgeless Dwarf Galaxies and Dark Matter Cores from Supernova-Driven Outflows // *Nature*. 2010. Vol. 463. P. 203–206.
5. Kazantzidis S., Abadi M. G., Navarro J. F. The Sphericalization of Dark Matter Halos by Galaxy Disks // *ApJL*. 2010. Vol. 720. P. L62–L66.
6. Kuzio de Naray R., Spekkens K. Do Baryons Alter the Halos of Low Surface Brightness Galaxies? // *ApJL*. 2011. Vol. 741. P. L29.
7. Дорошкевич А. Г., Лукаш В. Н., Мухеева Е. В. К решению проблем каспов и кривых вращения в гало темной материи в космологической стандартной модели // *Успехи физических наук*. 2012. Vol. 182. No. 1. P. 3–18.
8. Salucci P., Frigerio Martins C. The Mass Distribution in Spiral Galaxies // *EAS Publications Series* / Eds. E. Precentral, T. Buchert, P. di Stefano, Y. Copin. 2009. Vol. 36. P. 133–140.
9. Salucci P. Universal Properties in Galaxies and Cored Dark Matter Profiles // *ArXiv e-prints*. 2010.
10. Gentile G., Salucci P., Klein U. et al. The Cored Distribution of Dark Matter in Spiral Galaxies // *MNRAS*. 2004. Vol. 351. P. 903–922.
11. Pizzella A., Corsini E. M., Morelli L. et al. Cold Dark Matter Cusps in Low Surface Brightness Galaxies by Means of Stellar Kinematics // *Formation and Evolution of Galaxy Disks* / Eds. J. G. Funes, E. M. Corsini. 2008. Vol. 396. P. 449.
12. Donato F., Gentile G., Salucci P. Cores of Dark Matter Haloes Correlate with Stellar Scalelengths // *MNRAS*. 2004. Vol. 353. P. L17–L22.
13. Donato F., Gentile G., Salucci P. et al. A Constant Dark Matter Halo Surface Density in Galaxies // *MNRAS*. 2009. Vol. 397. P. 1169–1176.
14. Del Popolo A., Cardone V. F., Belvedere G. Surface Density of Dark Matter Haloes on Galactic and Cluster Scales // *MNRAS*. 2013. Vol. 429. P. 1080–1087.
15. Blok W. J. G. de. The Core-Cusp Problem // *Advances in Astronomy*. 2010. Vol. 20.
16. Burkert A. The Structure of Dark Matter Halos in Dwarf Galaxies // *ApJL*. 1995. Vol. 447. P. L25.
17. Marchesini D., D’Onghia E., Chincarini G. et al. Na Rotation Curves: The Soft Core Question // *ApJ*. 2002. Vol. 575. P. 801–813.
18. Saburova A. S. Do Low Surface Brightness Galaxies Have Dense Disks? // *Astronomy Reports*. 2011. Vol. 55. P. 409–415.
19. Binney J., Tremaine S. *Galactic Dynamics: 2nd ed.* Princeton University Press, 2008.
20. Pizzella A., Corsini E. M., Sarzi M. et al. Structure and Dynamics of Galaxies with a Low Surface-Brightness Disc. I: The Stellar and Ionized-Gas Kinematics // *MNRAS*. 2008. Vol. 387. P. 1099–1116.
21. Palunas P., Williams T. B. Maximum Disk Mass Models for Spiral Galaxies // *AJ*. 2000. Vol. 120. P. 2884–2903.
22. Blok W. J. G. de, Walter F., Brinks E. et al. High-Resolution Rotation Curves and Galaxy Mass Models from THINGS // *ApJ*. 2008. Vol. 136. P. 2648–2719.
23. Bell E. F., Jong R. S. de. Stellar Mass-to-Light Ratios and the Tully-Fisher Relation // *ApJ*. 2001. Vol. 550. P. 212–229.
24. Munoz-Cuartas J. C., Macció A. V., Gottlober S., Dutton A. A. The Redshift Evolution of Λ Cold Dark Matter Halo Parameters: Concentration, Spin and Shape // *MNRAS*. 2011. Vol. 411. P. 584–594.

Материал поступил в редколлегию 06.03.2013

G. A. Shchelkanova, S. I. Blinnikov, A. S. Saburova, A. D. Dolgov

TESTING DIFFERENT MODELS OF DARK MATTER DISTRIBUTION IN GALAXIES

Different numerical and analytical models of dark matter (DM) give divergent predictions about the behavior of the density of DM in the centers of galaxies. In the present work a comparison of the three model distribution of DM (NFW, Moore and Burkert) with varying degrees of singularity in the center, or without it, is carried out for four low surface brightness galaxies. Contrary to the claims in the literature, the results of fitting the observed rotation curves do not allow one to speak of the unique preference for any one of the models. For two of the four galaxies the highest levels of significance has the NFW model, and for the other two – the Burkert model. Simulation is carried out also taking into account the criteria of marginal gravitational stability of galactic disks. A comparison with the photometric data shows that the disks of galaxies under consideration, are perhaps overheated, because modeling without this criterion gives better agreement with the photometric data and better values of the chi-square test for rotation curves.

Keywords: dark matter, rotation curves, gravitational stability.