

УДК 524.47:524.882

ЧЁРНЫЕ ДЫРЫ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ МАССЫ В ШАРОВЫХ СКОПЛЕНИЯХ

© 2011 А. А. Киселев, Ю. Н. Гнедин, Н. А. Шахт, Е. А. Грошева

ГАО РАН, Пулково

Поступила в редакцию 4 февраля 2011 г.; принята в печать 17 марта 2011 г.

Выполнена оценка массы центральных тел ряда шаровых скоплений нашей Галактики на основе данных о дисперсиях лучевых скоростей звезд. Предположено, что близкие к центру скопления (к черной дыре) звезды обращаются около него, и их массы порядка массы Солнца, а масса центра в 1000 раз больше. Рассмотрены лучевые скорости звезд вблизи центра скоплений для двух предполагаемых крайних случаев: 1) упорядоченного обращения звезд около центра и 2) хаотических обращений. Для большинства скоплений полученные массы 10^2 – $10^4 M_{\odot}$ соответствуют черным дырам промежуточной массы. Другим важным результатом нашей работы является определение величины l — характерного размера дополнительного пространственного измерения. С учетом возраста и массы шарового скопления NGC 6397 и в согласии с новой теорией гравитации нам удалось оценить величину l , которая оказалась в пределах от 0.02 до 0.14 мм.

Ключевые слова: *пульсары, нейтронные звезды и черные дыры*

1. ВВЕДЕНИЕ

Факт существования во Вселенной сверхмассивных черных дыр и черных дыр звездной массы считается установленным как теоретически, так и наблюдательно. В настоящее время открыто не менее 20 черных дыр с массой порядка M_{\odot} в двойных системах, а также измерены массы многих сотен сверхмассивных (10^6 – $10^9 M_{\odot}$) черных дыр в ядрах галактик (см. Черепашук [1]). Имеются примеры обнаружения одиночных черных дыр звездной массы по эффекту микролинзирования, см., например, [2]. Неоднократные исследования движения звезд вблизи центра нашей Галактики, которые были проведены также и авторами настоящей работы, применившими динамические методы небесной механики (см. Киселев и др. [3]), показали, что в центре Галактики находится сверхмассивная черная дыра массой около $4 \times 10^6 M_{\odot}$. Значительно реже встречаются примеры черных дыр промежуточной массы (IMBH): 10^2 – $10^5 M_{\odot}$. Такие объекты можно встретить в шаровых скоплениях, карликовых галактиках и в активных ядрах галактик (AGN). Известно соотношение между массой и дисперсией скоростей, которое хорошо представляет связь между этими величинами для массивных и сверхмассивных черных дыр и которое интересно проверить для случая черных дыр промежуточной массы. Результаты соответствующих исследований даны в статьях Сафоновой и Шанстри [4], Сафоновой и Сталина [2], а также в статье Тинг-Ни Лу и Конга [5] и в работах других авторов. Известны, по крайней мере, несколько шаровых скоплений [4],

центральные ядра которых уверенно отождествляются с черными дырами промежуточной массы и хорошо дополняют установленную для сверхмассивных дыр зависимость масса — дисперсия скорости. В связи с тем, что для большинства шаровых скоплений известны лучевые скорости и их дисперсии (см. каталог Харриса [6, 7], а также работы Сафоновой и Шанстри [4], Герсена и др. [8]), мы воспользовались этими данными для определения массы центрального сгущения в избранных шаровых скоплениях. Всего нами были исследованы 18 шаровых скоплений с дисперсиями лучевых скоростей, приведенными в работе [4]. Среди этих скоплений имелись 4 объекта (NGC 104, NGC 2808, NGC 6397, NGC 7078) с наиболее уверенно вычисленной массой как по дисперсии скоростей [4], так и по радионаблюдениям [5]. Остальные скопления имели предварительную оценку массы центрального тела, которая также свидетельствовала о возможном наличии в центре скопления черной дыры промежуточной массы.

Мы определили массу всех 18 скоплений, используя наш динамический метод, примененный ранее в нашей работе [9] для шарового скопления M15 (NGC 7078) и основанный на знании интеграла энергии и теоремы Клейбера.

С учетом возраста шарового скопления NGC 6397 и массы его ядра мы определили характерное время квантового испарения черной дыры. Сравнение со средним возрастом шарового скопления с центральной черной дырой промежуточной массы позволило определить характерный масштаб l .

2. ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе [9] нами была произведена оценка массы черной дыры в центре шарового скопления М15 с использованием дисперсии лучевых скоростей V_r из работы Герсена и др. [8] для группы звезд вблизи центра скопления. Для оценки массы нами был вычислен интеграл энергии, и в соответствии с условиями задачи двух тел была рассчитана сумма масс: “центральное тело + звезда”. При этом мы рассматривали два крайних случая. В первом варианте предполагалось, что звезды обращаются вокруг черной дыры по круговым орбитам в одну сторону перпендикулярно картинной плоскости. Во втором варианте было предположено хаотическое движение звезд по случайно ориентированным орбитам, и был применен статистический метод, основанный на теореме Клейбера.

В настоящей работе целью нашего исследования была оценка масс центрального тела в ряде шаровых скоплений, принадлежащих нашей Галактике, с известными лучевыми скоростями и их дисперсиями. При этом представлялось интересным оценить массы ядра по нашему методу для двух крайних случаев, а также произвести сравнение наших результатов с оценками масс данных объектов, приведенных в работах [4] и [5].

3. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ МАСС ЧЁРНЫХ ДЫР

Мы просмотрели ряд шаровых скоплений, находящихся в Млечном Пути и относящихся к объектам, включенным в каталог Харриса [7]. Из них нами были выбраны 18 объектов, упомянутых в работе Сафоновой и Шанстри [4], у которых в центре предполагалось наличие черной дыры. Для этих скоплений известны расстояния от Солнца — D , средняя лучевая скорость центроидов — V_r и выраженная в км/с дисперсия скоростей — σ_e для области звезд, соответствующей эффективному радиусу R_e . Для оценки масс мы использовали их расстояния от Солнца, приведенные в новой версии каталога Харриса [7]. В связи с тем, что дисперсия скоростей в каталоге [7] незначительно отличается от σ_e из работы [4], для вычисления масс центральных сгущений соответствующих скоплений и для сравнения с работой [4] нами были взяты σ_e из [4]. Кроме того, для дальнейшего вычисления предполагаемых радиусов R_e , используемых нами для оценки массы, мы воспользовались величинами приливных радиусов — $(R_t)'$, выраженными в угловых минутах, вычислив их по центральной концентрации C и радиусу ядра R_c , взятыми также из каталога Харриса [7]. Была использована формула:

$$C = \log \frac{R_t}{R_c}, \quad (1)$$

и при этом сделано допущение, что эта формула справедлива для всех рассматриваемых скоплений.

Основная обработка проводилась по формулам, примененным нами в работе [9].

Допустим, как мы уже предполагали ранее, для скопления М15 звезды скопления обращаются вокруг центра скопления в плоскости, параллельной лучу зрения. Соответственно, мы можем оценить $\sum M$ — сумму масс системы: “центральное тело + звезды”, используя интеграл энергии, как это принято в задаче двух тел при определении массы двойной звезды. В общем случае интеграл энергии имеет следующий вид:

$$V^2 = k^2 \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right), \quad (2)$$

где $k^2 = 4\pi^2(M_1 + M_2)$ или $k^2 = 4\pi^2 \Sigma M$. При круговом движении: $\bar{r} = a$, и мы имеем:

$$V^2 = k^2 \frac{1}{r} \quad (3)$$

и

$$\sum M = \frac{rV^2}{4\pi^2} = \frac{rV^2}{39.48} = 0.0253 rV^2. \quad (4)$$

При этом мы используем соответствующие размерности:

$$[k^2] = \text{а.е.}^3/\text{год}^2; \quad [V] = \frac{V_{\text{км/с}}}{4.74} \text{ или}$$

$$[V] = \text{а.е.}/\text{год}; \quad [r] = \text{а.е.}; \quad [M] = M_{\odot}.$$

Для скопления М15, исследуя в работе [9] движение звезд на малом расстоянии от его центра ($\bar{\rho} = 1''$) и приняв расстояние от Солнца до скопления равным 10 кпк, мы получили величину среднего радиуса \bar{r} , соответствующего $1''$ в картинной плоскости

$$\bar{r} = \frac{\bar{\rho}}{\pi_t} = 10^4 \text{ а.е.} \quad (5)$$

Здесь π_t — тригонометрический параллакс, равный $0.''0001$.

Используя полученные на телескопе Хаббла и приведенные в работе Герсена и др. [8] остаточные разности лучевых скоростей звезд скопления М15 на расстоянии $1''$ от его центра, мы определили для данной выборки звезд среднюю остаточную скорость ΔV_r , равную $3.0 \text{ а.е.}/\text{год}$. При этом в распределении ΔV_r выявилась особенность, характерная для кругового вращения этих звезд около центра скопления в плоскости, параллельной лучу зрения. В этих условиях мы заменили пространственную скорость V в формулах (2–4) на ее проекцию ΔV_r и оценили величину нижнего предела массы центрального тела скопления, которая оказалась равной $2.28 \times 10^3 M_{\odot}$ [9].

Перейдем к другим скоплениям. Предположим, что в них также имеется круговое движение звезд вокруг центра.

Рассмотрим следующие варианты вращения звезд в самом центре скопления или в его ближайших окрестностях, соответствующие крайним случаям :

1) имеется круговое движение в плоскости вращения, параллельной лучу зрения. Тогда, принимая во внимание расстояния и распределение скоростей, а также считая, что масса звезд мала по сравнению с массой центрального тела, можно оценить массу центрального тела скопления по формулам (3–4), используя значение центральной дисперсии σ_e .

Более вероятен другой вариант: 2) наблюдаемые ΔV_r суть проекции случайным образом направленных векторов V . Тогда, согласно теореме Клейбера:

$$|\Delta \bar{V}_r| = \frac{1}{2} \Delta \bar{V}. \quad (6)$$

Пусть мы определили дисперсию σ , которая равна:

$$\sigma_{(V_r)} = \sqrt{\frac{\sum (V_r - \bar{V}_r)^2}{n - 1}}. \quad (7)$$

При этом, между средней абсолютной величиной $|\Delta \bar{V}_r|$ и дисперсией имеются следующее соотношение:

$$|\Delta \bar{V}_r| = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sigma_{(V_r)} = 0.798 \sigma_{(V_r)}. \quad (8)$$

Используя теорему Клейбера и интеграл энергии для абсолютных величин остаточных лучевых скоростей $|\Delta \bar{V}_r|$, вычисленных по известной дисперсии, получаем:

$$\Delta \bar{V} = 2|\Delta \bar{V}_r| \quad (9)$$

и

$$(\Delta \bar{V})^2 = k^2 \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right). \quad (10)$$

Подставив величину $\Delta \bar{V} = 2|\Delta \bar{V}_r|$ в формулу (10) для интеграла энергии и предположив, что у случайных орбит большая полуось a в среднем равна r , а также, что масса звезд M_s скопления мала по сравнению с массой центрального тела M_c , мы можем оценить массу центрального тела по формулам:

$$M_c = \frac{4r(|\Delta \bar{V}_r|)^2}{4\pi^2} = \frac{4r(|\Delta \bar{V}_r|)^2}{39.48}, \quad (11)$$

$$M_c = 0.101r(|\Delta \bar{V}_r|)^2. \quad (12)$$

Таким образом, если распределение лучевых скоростей не является следствием ошибок измерений, то его можно объяснить притяжением сверхмассивного тела в центре скопления, масса которого в случае M15 составляет от 1000 до 10000 масс Солнца в зависимости от принятой гипотезы относительно характера движения звезд и от принятого значения r .

Также по формулам (4) и (12) мы определили массы центральных тел других скоплений. Для того, чтобы исключить влияние отдельных звезд с большими скоростями, мы в формуле (4) вместо V использовали $|\Delta \bar{V}_r|$, вычисленное согласно (8).

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ МАСС ЧЁРНЫХ ДЫР

Предполагаем, что нам известна дисперсия скоростей в выбранной малой области вокруг центрального тела скопления. В качестве этой величины мы использовали значения σ_e — центральную дисперсию, приведенную в работе Сафоновой и Шастри [4].

В Табл. 1 приведены результаты нашей предварительной оценки M_c для избранных шаровых скоплений. В первых двух столбцах даны номера скоплений, в столбце 3 — величина $|\Delta \bar{V}_r|$, вычисленная по формуле (8) с использованием дисперсии σ_e из работы [4], в столбце 4 — расстояние от Солнца до скопления — D в килопарсеках. В столбце 5 дан предполагаемый эффективный радиус R_e , выраженный в а.е., причем мы предположили, что он составляет одну тысячную долю от приливного радиуса R_t , как это было принято нами в работе [9] для M15 (NGC 7078). В столбце 6 приведены оценки масс центрального тела (черной дыры), вычисленные в предположении кругового вращения близких звезд в плоскости, параллельной лучу зрения.

Оценки масс в этом случае делались по формуле (4) при V , равном $|\Delta \bar{V}_r|$, и r , равном R_e — среднему расстоянию звезд с заданной дисперсией. Эти оценки соответствуют минимальной величине массы черной дыры в условиях нашей задачи.

В столбце 7 приведены оценки массы черной дыры для случая хаотического вращения звезд по случайным орбитам. Масса центрального тела в этом случае вычислялась также на основе известной дисперсии $\sigma_{(V_r)}$, но с учетом случайного распределения скоростей по теореме Клейбера (см. формулы (9) и (12)) и также при r , равном R_e . Оценку массы черной дыры в этих условиях можно рассматривать как максимальную.

В столбце 8 приведена M_c — масса центральных сгущений указанных скоплений, выраженная

Таблица 1. Параметры избранных скоплений

No	NGC	$ \Delta V_r $, км/с	D , кпк	R_e , а.е.	$M_c, 10^3 M_\odot$ Круговое движение	$M_c, 10^3 M_\odot$ Случайные орбиты	M_c , $10^3 M_\odot$ [4]
1	2	3	4	5	6	7	8
1	104	9.3	4.5	11600	1.13	4.53	1.0
2	362	5.0	8.6	5420	0.15	0.61	0.07
3	1851	9.0	12.1	4790	0.44	1.76	0.92
4	1904	4.2	12.9	3744	0.07	0.28	0.03
5	2808	10.7	9.6	5240	0.68	2.71	1.87
6	5286	6.9	11.7	5054	0.27	1.08	0.29
7	5904	5.2	7.5	10800	0.32	1.28	0.09
8	6093	11.6	10.0	4320	0.65	2.62	2.61
9	6205	5.7	7.1	8946	0.32	1.31	0.13
10	6397	3.6	2.3	2210	0.03	0.13	0.02
11	6402	6.6	9.3	4350	0.23	0.85	0.24
12	6441	8.0	11.6	4870	1.08	4.32	0.55
13	6544	7.2	3.0	360	0.02	0.84	0.36
14	6656	13.6	3.2	3456	0.72	2.88	5.07
15	6715	16.2	26.3	12780	3.76	15.05	10.49
16	6752	9.9	4.0	12720	1.40	5.60	1.35
17	7078	11.3	10.4	16850	2.42	9.68	2.5
18	7099	4.5	8.1	9234	0.21	0.85	0.05

в $10^3 M_\odot$ и вычисленная Сафоновой и Шанстри по представленной в их работе [4] формуле:

$$\log(M_c/M_\odot) = 8.19 \pm 0.06 + (4.20 + 0.02) \log(\sigma/\sigma_o), \quad (13)$$

где $\sigma_o = 200$ км/с и M_c — масса центрального ядра скопления.

Как видно из Табл. 1, основная часть полученных нами масс центральных ядер скоплений соответствует величине $1M_{BH}$. Большинство этих величин, вычисленных в пределах радиуса от 2000 до 16800 а.е. в предположении упорядоченного или хаотического движения, сравнимы с соответствующей массой, приведенной в [4].

На рисунке показана зависимость логарифма массы ядра скопления от $\log(\frac{\sigma}{\sigma_o})$. Значения масс на графике соответствуют оценкам для кругового движения, однако для трех скоплений, NGC 6093, NGC 6656 и NGC 6715, мы использовали оценку, соответствующую случайному распределению.

Массы для скопления NGC 6544 (см. Табл. 1, столбцы 6 и 8) на рисунке мы не приводим, так как они плохо согласуются с линейными трендами. Наши массы для NGC 104, NGC 2808, NGC 6397,

Таблица 2. Концентрация и приближенная оценка возраста скоплений

NGC	C	Возраст, 10^9 лет	Ссылка
104	2.07	13 ± 2	[10]
6397	2.5	13.4 ± 0.8	[11]
6715	2.04	13.6	[12]
6752	2.50	15.5–14.5	[13]
7078	2.29	13	[14]
7099	2.50	15–17	[15]

NGC 7078 находятся в пределах соответствующих оценок, приведенных в работе [5] и полученных радионаблюдениям и динамическим методом.

Далее мы выбрали 6 скоплений достаточно однородных по степени концентрации. Величина C для этих скоплений, согласно каталогу Харриса [7], находится в пределах от 2.0 до 2.5. Для этих скоплений мы определили массу как для кругового движения, так и для случайного распределения

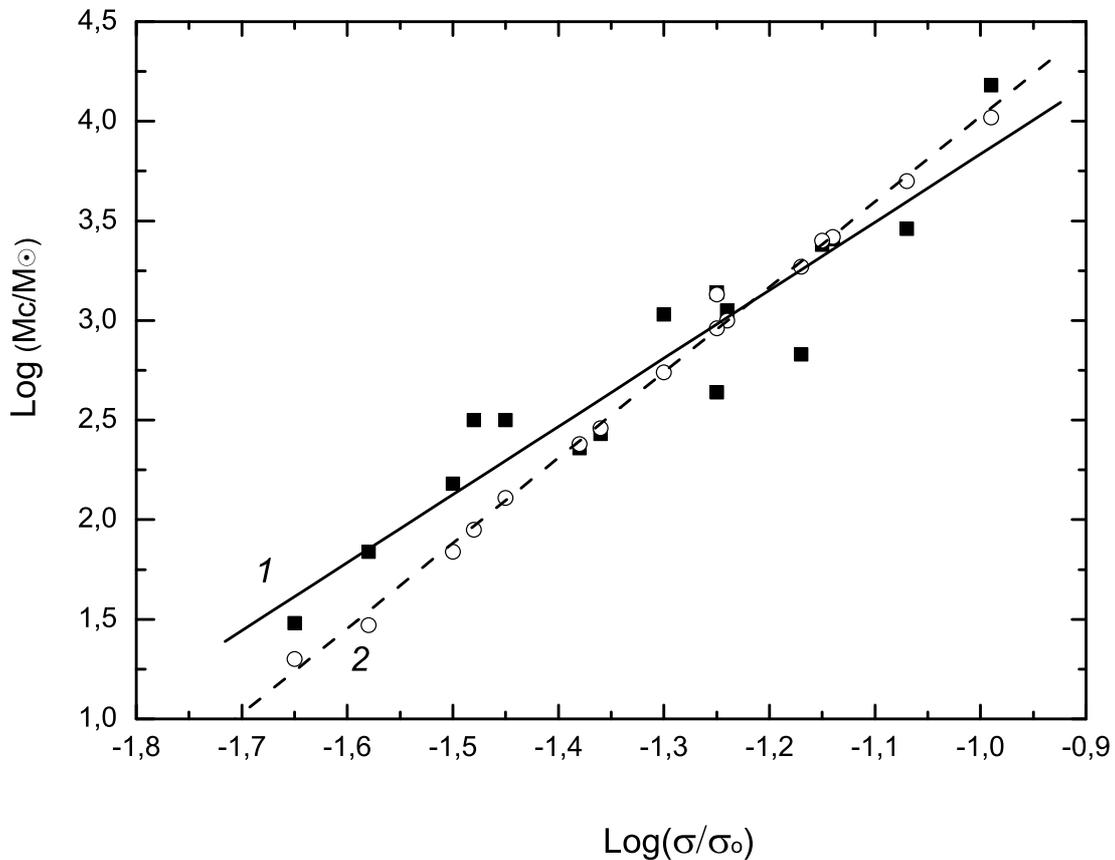


Рис. Зависимость между дисперсией скоростей и массой центрального тела шаровых скоплений. Черные квадраты (ряд 1) — наши оценки из Табл. 1, белые кружки (ряд 2) — данные из [4].

пространственных скоростей (эти значения масс даны в Табл. 1).

В Табл. 2 в столбце 2 мы приводим C — степень концентрации из [7]. В столбце 3 приведены данные о возрасте этих скоплений, полученные по результатам современных наблюдений, в том числе по наблюдениям из космоса и на VLT, в столбце 4 — ссылки на соответствующие работы.

С учетом полученной нами массы и известного возраста скоплений мы предприняли попытку оценить величину l — характерный масштаб нового дополнительного пространственного измерения. Эту оценку нам удалось получить для скопления NGC 6397.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРНОГО РАЗМЕРА ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ НОВОЙ ТЕОРИИ ГРАВИТАЦИИ

Модель Вселенной с дополнительными пространственными измерениями была предложена

для объяснения современной физической теории “великого объединения” всех типов физических взаимодействий (Аркини-Хамед и др. [16]; Рандалл и Сандрам [17]). Если стандартная модель предполагает, что современные физические законы действуют в четырехмерном пространстве-времени, то, согласно новой теории, гравитация действует в пятимерном мире. При этом величина эффективной планковской массы оказывается значительно больше, чем характерная шкала энергии в современной теории электро-слабого взаимодействия. Современные лабораторные эксперименты позволяют получить следующую оценку на характерный масштаб пятого дополнительного пространственного измерения: $l < 1$ мм (Капнер и др. [18]). Величина характерного масштаба дополнительного пространственного измерения может быть определена на основе астрофизических наблюдений (Постнов и Черепашук [19], Гнедин и др. [20]). Так Эмпаран и др. [21] и Талака [22] показали, что в рамках модели Рандалла и Сандрама [23] дополнительных пространственных измерений (RS2)

Таблица 3. Масса и характерный масштаб для избранных объектов с центральной черной дырой

Объект	M_{BH}, M_{\odot}	Возраст, годы	l , мм
XTEJ1118+480	8.5 ± 0.6	$> 10^7$	0.08
A0620-00	10 ± 5	—	0.16
NGC6397	30	$13.4 \pm 0.8 \times 10^9$	0.02
RZ 2109	10	10^{10}	0.003

черные дыры будут испаряться через механизм Хокинга значительно быстрее, чем это следует из классической общей теории относительности. Эмпаран и др. [24] показали, что в новой теории гравитации характерное время квантового испарения черной дыры равно:

$$\tau_{ev} = 120 \left(\frac{M_{BH}}{M_{\odot}} \right)^3 \left(\frac{l}{1 \text{ mm}} \right)^{-2}, \quad (14)$$

где l — характерный масштаб нового дополнительного пространственного измерения. Сравнение времени τ_{ev} с характерным временем возраста шарового скопления с черной дырой промежуточной массы в центре скопления позволяет определить характерный масштаб l . Для шарового скопления NGC 6397 в предположении упорядоченного кругового движения звезд вокруг центрального тела получаем l равным 0.02 мм. Эта оценка меньше оценки, полученной в работе [25], и примерно на порядок больше оценки, полученной в работе Гнедина [20] для шарового скопления RZ 2109 в эллиптической галактике NGC 4472. Оценка характерного масштаба l для черных дыр в других шаровых скоплениях представлена в Табл. 3. Для черной дыры массой $M_{BH} = 20 M_{\odot}$ и характерным возрастом $\tau = 1.42 \times 10^9$ лет получаем $l = 0.007$ мм.

В предположении хаотического движения звезд в скоплении NGC 6397 величина l оказалась равной 0.14 мм.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Нами были произведены оценки масс центральных сгущений некоторых шаровых скоплений в нашей Галактике с использованием предложенного нами астрометрического метода. Выполнено сравнение с массами, полученными другими методами. Сделан вывод, что, действительно, во многих случаях центральное сгущение скопления может иметь массу, характерную для ИМВН.

2. Следует отметить, что на настоящем этапе работы наши расчеты являются достаточно приближенными. Мы использовали параметры избранных шаровых скоплений (каталожные данные), не учитывая вполне их физические свойства, пути их

эволюции и другие особенности, которые различаются для исследуемых конкретных объектов. Все же мы полагаем, что наш метод может оказаться достаточно эффективным и что в некоторых случаях, используя его, можно решить обратную задачу: по имеющейся массе и дисперсии определить R_e . Это может быть полезно особенно для тех случаев, когда масса определена не только по дисперсии радиальных скоростей, но и каким-то другим путем, например, по кеплеровскому движению мазерных источников вокруг центральных черных дыр.

3. При использовании современных данных о массах и возрасте скоплений, в том числе по наблюдениям из космоса и на VLT, была оценена возможность определения скорости испарения черной дыры. Для скопления NGC 6397, с учетом полученной нами массы, удалось оценить характерный масштаб l , величина которого согласуется с оценками, полученными другими авторами.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят рецензента за ценные советы и замечания. Работа поддерживалась грантами: программы Президиума РАН № 4, программы ОФН РАН, программы ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы” (ГК № 02.740.11.0246) и президентской программы “Ведущие научные школы на 2010–2011 годы” (НШ - 3645.2010.2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. А. Черепашук, *Наследие Галилея Сборник лекций конференции “Астрономия и общество”*, Редакторы А. А. Боярчук и Д. З. Вибе (Скиф, Москва, 2009).
2. M. Safonova, C. S. Stalin, *New Astronomy* **15**, 1 (2010).
3. А. А. Киселев, Ю. Н. Гнедин, Е. А. Грошева и др., *Астрон. ж.* **84**, 118 (2007).
4. M. Safonova and P. Shastri, *Astroph. and Space Sci.* **325**, 47 (2010).
5. Ting-Ni Lu and Albert K. H. Kong, arXiv:1102.1668v1 [Astro-ph.SR]
6. W. E. Harris, *Astrophys. J.* **112**, 1487 (1996).
7. W. E. Harris, (<http://physwww.mcmaster.ca1harris/mwgc.dat>).
8. J. Gerssen, R. P. van der Marel, K. Gebhardt, et al., *Astronom. J.* **124**, 3270 (2002).
9. А. А. Киселев, Ю. Н. Гнедин, Н. А. Шахт и др. Письма в АЖ **34**, 585 (2008).
10. M. Zoccali, A. Renzini, S. Ortolani, et al., *Astrophys. J.* **553**, 733 (2001).
11. L. Pasquini, P. Bonifacio, S. Randich, et al., *Astronom. and Astrophys.* **426**, 651 (2004).
12. D. Geisler, G. Wallerstein, V. V. Smith, and D. Gasetti-Dinescu, *PASP* **119**, 939 (2007).
13. A. Renzini, A. Bragaglia, F. R. Ferraro, et al., *Astrophys. J.* **465**, L23 (1996).

14. B. J. McNamara, T. E. Harrison, and H. Baumgardt, *Astrophys. J.* **602**, 264 (2004).
15. N. N. Samus', A. P. Ipatov, O. M. Smirnov, et al., *Astronomy Letters* **21**, 907 (1995).
16. N. Arkani-Hamed, S. Dimopoulos, and G. Dvali, *Phys. Lett.* **13**, 263 (1998).
17. L. Randall and R. Sundrum, *Phys. Rev. Lett.* **83**, 3370 (1999).
18. D. Kapner, T. S. Cook, E. G. Adelberger, et al., *Phys. Rev. Lett.* **98**, 021101 (2007).
19. К. Постнов и А. М. Черепашук, *astro-ph/0401466* (2004).
20. O. Yu. Gnedin, T. Maccarone, D. Psaltis, and S. E. Zepf, *Astrophys. J.* **705**, L168 (2009).
21. R. Emparan, A. Fabbri, and N. Kaloper, *J. High Energy Phys.* **8**, 43 (2002).
22. T. Talaka, *Prog. Theor. Phys. Suppl.* **148**, 307 (2003).
23. L. Randall and R. Sundrum, *Phys. Rev. Lett.* **83**, 4690 (1999).
24. R. Emparan, J. Garcia-Belido, and N. Kaloper, *J. High Energy Phys.* **8**, 79 (2003).
25. D. Psaltis, *Phys. Rev. Lett.* **98**, 181101 (2007).

INTERMEDIATE-MASS BLACK HOLES IN GLOBULAR CLUSTERS

A. A. Kiselev, Yu. N. Gnedin, N. A. Shakht, E. A. Grosheva

The mass of central bodies in a number of Milky-Way globular clusters is estimated based on the stellar radial-velocity dispersion data. It is assumed that stars located close to the center of the cluster (i.e., to the black hole) rotate about it, have masses on the order of the solar mass, and that the mass of the gravitating center is greater by a factor of 1000. The radial velocities of stars in the vicinity of cluster centers are analyzed for two hypothetical extreme cases: (1) ordered orbital motion of stars about the gravitating center and (2) chaotic orbital motions. The masses inferred for most of the clusters (10^2 – $10^4 M_{\odot}$) correspond to intermediate-mass black holes. Another important result of this study consists in the determination of the quantity l , the characteristic scale length of the additional spatial dimension. Given the age and mass of the globular cluster NGC 6397 we estimate l to be between 0.02 and 0.14 mm.

Key words: *globular clusters: general*