

ЗАВИСИМОСТЬ АМПЛИТУДЫ ДРЕЙФА КОМПАКТНЫХ ОБЪЕКТОВ В ЯДРАХ ГАЛАКТИК ОТ ПАРАМЕТРОВ БАЛДЖА

А.С.КОНДРАТЬЕВ

Поступила 7 августа 2009

Принята к печати 16 сентября 2009

Изучается миграция центральных компактных массивных объектов (КМО) в ядрах галактик за счет сближений с шаровыми скоплениями галактики. Движение КМО происходит в поле фиксированного потенциала балджа галактики. При этом используется эмпирическое соотношение между массами КМО и балджа ($M_{\text{м}} = 0.001 M_{\text{б}}$). Найдены зависимости амплитуды дрейфа КМО от массы и размера балджа, а также от начальной скорости и массы шарового скопления. Показано, что амплитуда дрейфа в среднем увеличивается при возрастании размера балджа (при его фиксированной массе) и уменьшается с ростом массы балджа (при его фиксированном размере). Амплитуда дрейфа в среднем увеличивается с ростом массы скопления и уменьшением его скорости.

Ключевые слова: галактики; ядра; центральные компактные объекты; динамика

1. *Введение.* В последние годы в ядрах галактик обнаружено несколько сотен компактных массивных объектов (КМО) и выполнены их статистические исследования. Массы КМО коррелируют со светимостями и массами балджей соответствующих галактик (см., например, обзор Черепашука, [1]). Эти объекты могут испытывать колебания вблизи центра галактики за счёт различных эффектов. Обзор некоторых из этих эффектов дан в нашей предыдущей работе [2]. Эти колебания могут приводить к изменению активности ядра, в частности, к асимметрии джетов.

В работе [3] рассматривалась миграция сверхмассивной черной дыры за счет взаимодействия ее со звездами окружающего плотного звездного скопления. В ней оцениваются амплитуды и скорости дрейфа черной дыры в зависимости от ее массы и массы скопления.

В работе [2] рассматривался другой механизм миграции компактного объекта в ядре - его движение в результате взаимодействия с шаровыми скоплениями, сближающимися с ядром галактики. Мы рассмотрели несколько примеров моделей галактик, в частности, модель нашей Галактики. Было показано, что амплитуда дрейфа КМО может достигать нескольких сотен парсек и сильно зависит от массы и размера балджа.

В данной работе мы обобщаем полученные ранее результаты на более широкий диапазон моделей галактик, включая эллиптические галактики.

При этом мы учитываем известное эмпирическое соотношение между массами КМО и балджа галактики (см. [1]):

$$M_{bh} \approx 0.001 M_b. \quad (1)$$

Кроме того, мы рассматриваем зависимости амплитуды дрейфа КМО от начальной скорости и массы шарового скопления и приводим количественные оценки возмущенного движения по сравнению с невозмущенным.

2. Модели балджей галактик и методика расчетов. Поскольку движение КМО происходит вблизи центра галактики, мы учитываем только влияние потенциала балджа и пренебрегаем влиянием других подсистем (в частности, диска и гало).

Введем систему координат с началом в центре балджа. Потенциал балджа соответствует модели Пламмера [4]:

$$\Phi(r) = \frac{GM_b}{(r^2 + b^2)^{3/2}}, \quad (2)$$

где G - постоянная тяготения, b - эффективный радиус балджа, M_b - масса балджа, r - расстояние до центра балджа. Балдж предполагается сферически симметричным. В начальный момент времени КМО помещается вблизи центра балджа (на удалении 1 пк по каждой из координат X , Y , Z). Начальная скорость КМО составляет 0.001 км/с; вектор скорости направлен вдоль оси OY .

Рассмотрим сближение КМО с массой M_m и шарового скопления с массой M_s . Вначале шаровое скопление находится в точке с координатами $(X_0, Y_0, 0)$ и движется вдоль оси OX со скоростью V_0 в направлении центра галактики.

Расчеты движения КМО производятся следующим образом. Учитываются только взаимодействие КМО и шарового скопления, а также влияние на них балджа. Поскольку балдж имеет массу на несколько порядков больше, чем КМО и шаровое скопление, то их влиянием на движение балджа мы пренебрегаем.

Начальные параметры сближения приняты равными:

$X_0 \in (0.8; 1.2)$ кпк с шагом 0.1 кпк, $Y_0 \in (0.05; 0.1)$ кпк с шагом 0.005 кпк, $V_0 \in (100, 400)$ км/с с шагом 100 км/с. Масса шарового скопления принималась равной $M_s = 3 \cdot 10^5 M_\odot$, $10^6 M_\odot$, $3 \cdot 10^6 M_\odot$, $10^7 M_\odot$. Масса балджа менялась от 10^9 до $10^{12} M_\odot$ для спиральных и гигантских эллиптических галактик и от 10^4 до $10^6 M_\odot$ для карликовых эллиптических галактик, при этом для всех случаев каждое последующее значение массы в 3 раза больше предыдущего. Масса КМО бралась каждый раз в соответствии с формулой (1). Размер балджа варьировался от 0.2 до 2.0 кпк с шагом 0.3 кпк для спиральных галактик, от 7 до 10 кпк с шагом 1 кпк для гигантских эллиптических галактик и от 0.1 до 1.6 кпк с шагом 0.25 кпк для карликовых эллиптических галактик. Для каждого варианта начальных условий эволюция прослежи-

валась в течение 250 млн лет.

3. *Результаты.* Целью исследования является выяснение зависимостей амплитуды Δ дрейфа КМО от параметров начального движения. При этом проводилось усреднение Δ по начальным положениям X_0 и Y_0 скопления: бралось медианное значение Δ .

На рис.1 приведены зависимости Δ от массы балджа M_b при различных размерах балджа b для спиральных галактик. Как видно из рисунка, величина Δ убывает с ростом M_b и возрастает с увеличением b (при фиксированной массе балджа). Максимальные значения Δ (порядка 100 пк) достигаются при сравнимых массах КМО и скопления и при наиболее протяженном балдже.

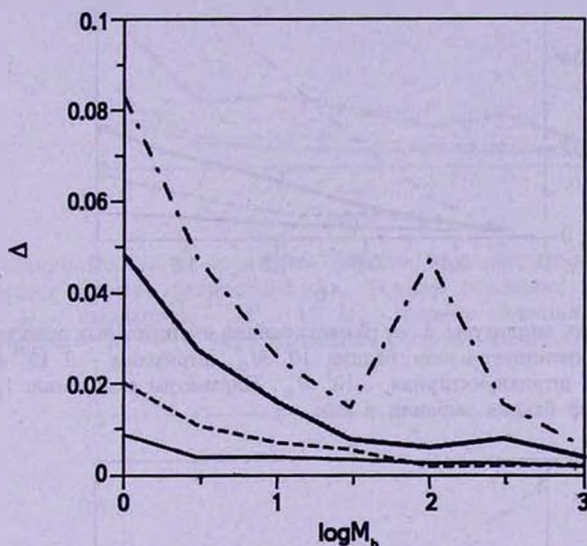


Рис.1. Зависимость амплитуды Δ (в килопарсеках) дрейфа КМО от массы балджа в спиральных галактиках. Тонкая сплошная линия соответствует размеру балджа 0.5 кпк, штриховая - 0.8 кпк, жирная сплошная - 1.4 кпк, штрих-пунктирная - 2 кпк. Начальная скорость скопления $V_0 = 200$ км/с, масса скопления $M_d = 10^6 M_\odot$. Масса балджа выражена в единицах $10^9 M_\odot$.

На рис.2 представлены зависимости Δ от размера балджа b при различных массах КМО для спиральных галактик. Наблюдается четкая тенденция к росту Δ с увеличением b . Как и на рис.1, максимальные значения Δ составляют около 100 пк и достигаются при наиболее "рыхлых" балджах. Можно заметить, что с увеличением размера балджа разброс величины Δ , связанный с различием его масс, возрастает. Заметим также, что в некоторых случаях наблюдаются вторичные пики в зависимостях амплитуды дрейфа КМО от его массы. Такое поведение может быть связано с тем, что сближение КМО со скоплением происходит при различных положениях КМО на своей орбите относительно центра

галактики и скопления. Если в ходе сближения КМО находится вблизи апоцентра своей орбиты и близко к скоплению, то амплитуда миграции будет больше за счет более сильного воздействия со стороны скопления. Процедура усреднения, описанная выше, несколько сглаживает вторичные пики, но не устраняет их полностью.

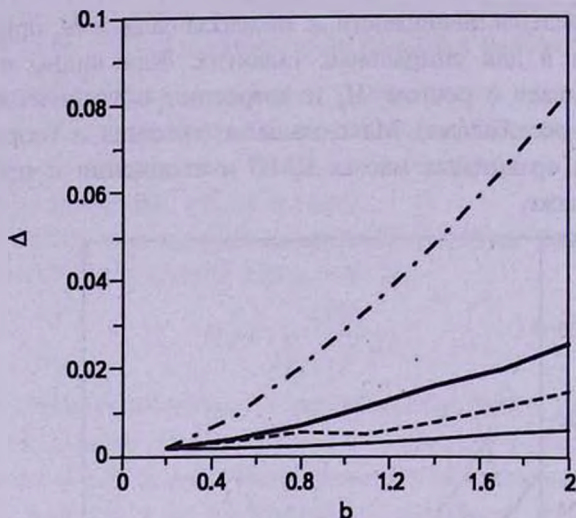


Рис.2. Зависимость амплитуды Δ от размера балджа в спиральных галактиках. Тонкая сплошная линия соответствует массе балджа $10^{12} M_{\odot}$, штриховая - $3 \cdot 10^{10} M_{\odot}$, жирная сплошная - $10^{10} M_{\odot}$, штрихпунктирная - $10^9 M_{\odot}$. Параметры скопления: $V_0 = 200$ км/с, $M_{cl} = 10^6 M_{\odot}$. Размер балджа выражен в кпк.

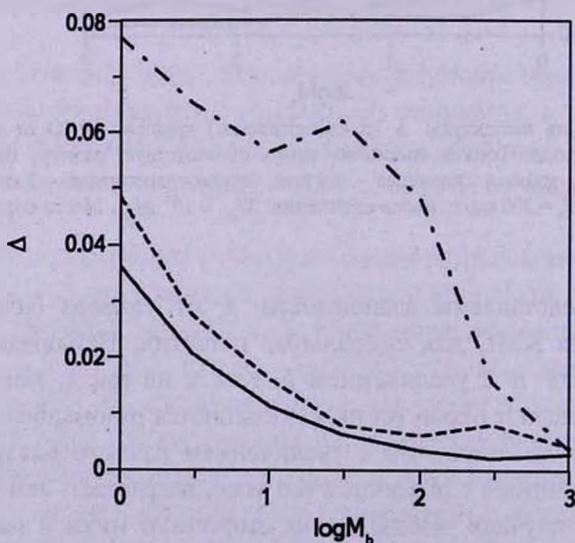


Рис.3. Зависимость Δ от массы балджа при различных значениях V_0 и фиксированном размере балджа 1.1 кпк в спиральных галактиках. Сплошная линия соответствует $V_0 = 400$ км/с, штриховая - $V_0 = 200$ км/с, штрихпунктирная - $V_0 = 100$ км/с. Масса скопления $M_{cl} = 10^6 M_{\odot}$.

Рассмотрим зависимость результатов моделирования от начальной скорости V_0 скопления и его массы M_d . Эти зависимости для спиральных галактик показаны на рис.3 и 4. Из рис.3 видно, что более медленные

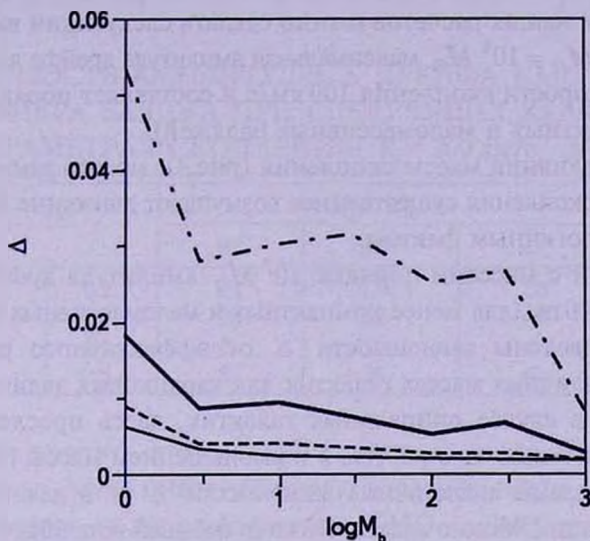


Рис.4. Зависимость Δ от массы балджа при различных значениях M_d и фиксированном размере балджа 0.5 кпк. Тонкая сплошная линия соответствует $M_d = 3 \cdot 10^5 M_\odot$, штриховая - $M_d = 10^6 M_\odot$, жирная сплошная - $M_d = 3 \cdot 10^6 M_\odot$, штрихпунктирная - $M_d = 10^7 M_\odot$. Начальная скорость скопления $V_0 = 200$ км/с.

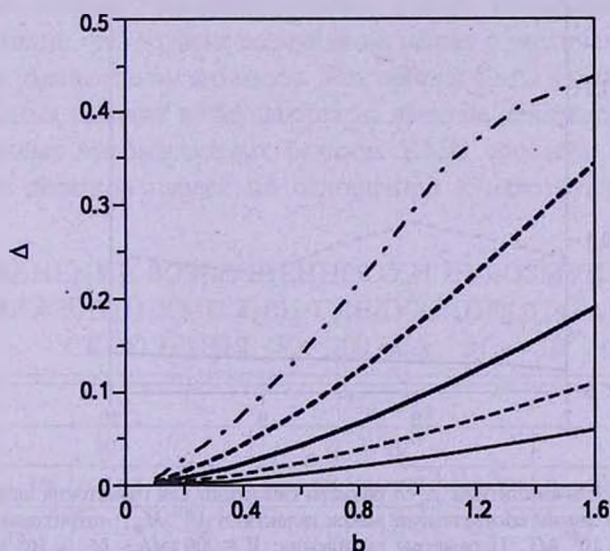


Рис.5. Зависимость амплитуды Δ от эффективного радиуса галактики для карликовых эллиптических галактик. Тонкая сплошная линия соответствует массе галактики $10^9 M_\odot$, тонкая штриховая - $3 \cdot 10^8 M_\odot$, жирная сплошная - $10^8 M_\odot$, жирная штриховая - $3 \cdot 10^7 M_\odot$, штрихпунктирная - $10^7 M_\odot$. Параметры скопления: $V_0 = 200$ км/с, $M_d = 10^6 M_\odot$. Радиус галактики выражен в кпк.

прохождения скопления в среднем сильнее увеличивают амплитуду дрейфа КМО. Это связано с тем, что при большой скорости скопления период эффективного взаимодействия гораздо короче, чем при малых скоростях.

Из результатов наших расчетов можно сделать следующий вывод: для массы скопления $M_d = 10^6 M_\odot$ максимальная амплитуда дрейфа достигается при начальной скорости скопления 100 км/с и составляет порядка 100 пк (для менее компактных и маломассивных балджей).

Что касается влияния массы скопления (рис.4), можно заметить, что более массивные скопления существеннее возмущают движение КМО, что является вполне логичным фактом.

Для скоплений с массой порядка $10^7 M_\odot$ амплитуда дрейфа КМО может достигать 300 пк (для менее компактных и маломассивных балджей).

На рис.5 приведены зависимости Δ от эффективного радиуса b галактики при различных массах галактик для карликовых эллиптических галактик. Как и в случае спиральных галактик, здесь прослеживается тенденция к увеличению Δ с ростом b и уменьшением массы галактики.

На рис.6 приведены аналогичные зависимости Δ от b для гигантских эллиптических галактик. Можно видеть, что из-за большой величины b значения Δ , как правило, существенно выше, чем в предыдущих случаях. Так, при массе галактики $10^{10} M_\odot$ и ее размере 10 кпк амплитуда достигает 300 пк.

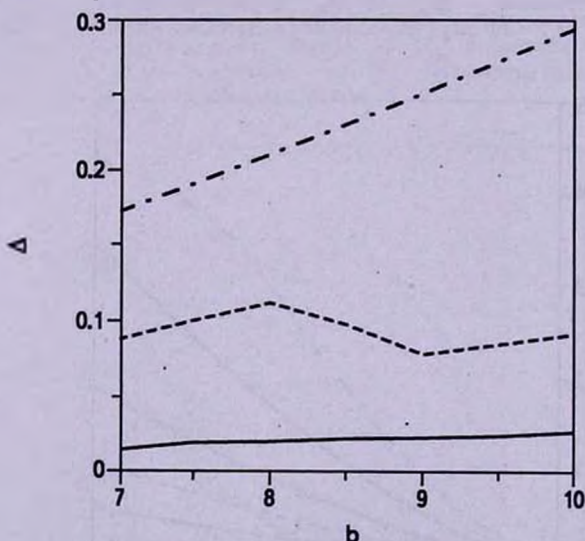


Рис.6. Зависимость амплитуды Δ от размера галактики для гигантских эллиптических галактик. Сплошная линия соответствует массе галактики $10^{12} M_\odot$, пунктирная — $10^{11} M_\odot$, штрихпунктирная — $10^{10} M_\odot$. Параметры скопления: $V_0 = 200$ км/с, $M_d = 10^6 M_\odot$. Размер галактики выражен в кпк.

Основные количественные результаты отражены в табл.1. Данные, приведенные в ней, подтверждают описанные выше тенденции. Заметим

также, что изменение размера балджа сильнее влияет на изменение величины Δ , чем изменение его массы: при вариациях размера и массы балджа в одинаковое число раз амплитуды Δ меняются существенно по-разному.

Таблица 1

ЗАВИСИМОСТЬ АМПЛИТУДЫ Δ ДРЕЙФА КМО ОТ МАССЫ И РАЗМЕРА БАЛДЖА ПРИ СЛЕДУЮЩИХ ХАРАКТЕРНЫХ ПАРАМЕТРАХ СКОПЛЕНИЯ: $V_0 = 200$ км/с, $M_d = 10^6 M_\odot$

Δ , пк		$M_b, M_\odot$			
		10^9	10^{10}	10^{11}	10^{12}
b , кпк	0.2	2.1	1.9	2.0	1.8
	0.8	20	7.1	1.9	2.4
	1.4	48	16	6	4
	2.0	83	26	47	6

Следует заметить, что даже при отсутствии взаимодействия с шаровыми скоплениями, КМО имеет некоторую невозмущенную амплитуду дрейфа Δ_0 , связанную с взаимодействием КМО с балджем. Сравним ее с амплитудой Δ в возмущенном случае, рассмотрев относительную амплитуду $\Delta_r = \Delta - \Delta_0$. В некоторых случаях скопление не оказывает существенного влияния на изменение траектории движения КМО: в частности, при малых массах скопления и массивных компактных балджах.

Количественное сравнение величин Δ и Δ_0 представлено в табл.2. Из таблицы видно, что эффект возмущения растет с увеличением "рыхлости" балджа и с уменьшением его массы. Так, орбиты КМО в наиболее массивных и компактных балджах возмущаются на десятые доли парсека, в то время как в рыхлых маломассивных балджах КМО способен отклониться на несколько десятков парсек по отношению к невозмущенному случаю.

Таблица 2

СРАВНЕНИЕ ВОЗМУЩЕННОГО И НЕВОЗМУЩЕННОГО ДВИЖЕНИЙ КМО ПРИ СЛЕДУЮЩИХ ПАРАМЕТРАХ СКОПЛЕНИЯ: $V_0 = 200$ км/с, $M_d = 10^6 M_\odot$

	$M_b, M_\odot$								
	10^9			$3 \cdot 10^{10}$			10^{12}		
	Δ_0 , пк	Δ , пк	Δ_r , пк	Δ_0 , пк	Δ , пк	Δ_r , пк	Δ_0 , пк	Δ , пк	Δ_r , пк
$b = 0.2$ кпк	20	2.1	0.1	1.7	1.8	0.1	1.7	1.8	0.1
$b = 1.1$ кпк	17	33	16	2.3	5.2	2.9	1.8	3.1	1.3
$b = 2.0$ кпк	24	83	59	7.8	15	7.0	2.0	6.2	4.2

Кроме того, величина Δ , падает с ростом скорости скопления и уменьшением его массы, что вполне очевидно.

4. *Заключение.* Таким образом, в настоящей работе исследованы движения центральных компактных массивных объектов в поле балджей галактик различных типов под воздействием шаровых скоплений проходящих вблизи центров галактик.

Выявлены зависимости амплитуды дрейфа КМО от массы и размера балджа, начальной скорости и массы скопления.

Показано, что чем массивнее и компактнее балдж галактики, тем сильнее он удерживает КМО вблизи центра галактики, амплитуда дрейфа в этих случаях составляет несколько парсек. В случаях протяженных и маломассивных балджей амплитуда дрейфа КМО может достигать двухсот парсек. При этом большее влияние на изменение амплитуды дрейфа оказывает размер балджа, нежели его масса.

С другой стороны, большое влияние на амплитуду дрейфа КМО оказывают параметры самого скопления. Чем больше масса скопления и чем медленнее оно движется, тем сильнее возмущение движения КМО результаты могут отличаться в несколько раз.

Заметим, что используемая нами модель точечной массы для шарового скопления не вполне адекватно отражает реальную ситуацию, поскольку скопление должно разрушаться за счет приливного взаимодействия с балджем галактики и КМО. Однако, как было показано нами ранее в [2] величина приливного радиуса, как правило, существенно больше радиуса скопления, и скопление можно приближенно считать сферически-симметричным. Следовательно, эффект приливного разрушения играет несущественную роль.

Автор благодарит В.В.Орлова за обсуждение результатов и Президентскую программу поддержки Ведущих научных школ (грант НШ-1323.2008.2) за финансовую поддержку.

Санкт-Петербургский государственный университет,
Россия, e-mail: semenych@inbox.ru

THE DEPENDENCES OF COMPACT MASSIVE OBJECTS DRIFT AMPLITUDE IN GALACTIC NUCLEI ON BULGE AND GLOBULAR CLUSTER PARAMETERS

A.S.KONDRATIEV

The migration of central massive objects (CMO) in galactic nuclei through their encounters with galactic globular clusters is studied. The black hole moves in the field of the galactic bulge with a fixed potential. At that empirical relation between CMO and bulge masses is used ($M_{\bullet}=0.001 M_{\bullet}$). The dependences of the black-hole drift amplitude on bulge mass and size, globular cluster initial velocity and mass have been found. It was demonstrated that drift amplitude on average increases as bulge size grows (while its mass is fixed) and decreases as bulge mass grows (while its size is fixed). Drift amplitude on average increases as cluster mass grows and its velocity diminishes.

Keywords: *galaxies:nuclei:central compact objects:dynamics*

ЛИТЕРАТУРА

1. А.М.Черепашук, Астрономия: традиции, настоящее, будущее, СПб: СПбГУ, 2007, с.198.
2. А.С.Кондратьев, В.В.Орлов, Письма в Астрон. ж., 34, 593, 2008.
3. D.Merritt, P.Berczik, F.Laun, Astrophys. J., 133, 553, 2007.
4. H.C.Plummer, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 71, 460, 1911.