



Шаровые скопления в центральной области Млечного Пути. II. Частотный анализ орбит, построенных по данным Gaia EDR3

А.Т. Байкова^{1*}, А.А. Смирнов¹, В.В. Бобылев¹
¹ ГАО РАН

Аннотация

Данная работа представляет собой второй этап исследований, направленных на изучение влияния бара на орбитальную динамику шаровых скоплений (Байкова, Смирнов и Бобылев, 2023). Проведен анализ орбит 45 шаровых скоплений в центральной галактической области радиусом 3.5 кпк методами спектральной динамики с целью выявления объектов, захваченных баром. Поскольку параметры бара Млечного Пути известны с очень большой неопределенностью, то были построены орбиты и проведен их частотный анализ с варьированием массы, длины и угловой скорости вращения бара в широком диапазоне значений с достаточно малым шагом. Интегрирование орбит производилось на 2.5 млрд лет назад. В результате были выявлены шаровые скопления, поддерживающие бар, для каждого набора параметров бара. Для формирования 6D фазового пространства, требуемого для интегрирования орбит, использованы самые точные на сегодняшний день астрометрические данные со спутника Gaia (Vasiliev и Baumgardt, 2021), а также новые уточненные средние расстояния до шаровых скоплений (Baumgardt и Vasiliev, 2021).

Введение и постановка задачи

Первый этап наших исследований влияния бара на орбитальные характеристики шаровых скоплений (ШС) в центральной области галактики Млечный Путь был посвящен анализу таких параметров орбит как апоцентрическое и перигцентрическое расстояния, эксцентриситет и максимальное расстояние от галактической плоскости, и был опубликован в работе Байкова, Смирнов и Бобылев (2023), которую для краткости обозначим как BSB2023. Настоящая работа представляет собой второй этап, целью которого является выявление шаровых скоплений, захваченных баром, в зависимости от параметров бара: массы, длины и угловой скорости вращения, которые к настоящему времени известны с большой неопределенностью.

Для решения поставленной задачи применён метод спектральной динамики, предложенный в работе Binney и Spergel (1982). Метод заключается в том, что каждой орбите можно поставить в соответствие характерные частоты f_X , f_Y , f_Z и f_R осцилляций по X , Y , Z координатам и цилиндрическому расстоянию $R = \sqrt{X^2 + Y^2}$ соответственно. Для этого вычисляются амплитудные спектры временных рядов $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ и $R(t)$ и находятся частоты с наибольшими амплитудами. Это и есть характерные, или доминантные частоты. Для задачи определения захваченных баром орбит вычисляются частоты f_X и f_R . Если отношение частот $f_R/f_X = 2$, то орбита считается захваченной баром. На практике используется соотношение $f_R/f_X = 2 \pm 0.1$ (Parul, Smirnov и Sotnikova, 2020). Подробное описание использованной модели гравитационного потенциала Галактики, включающей в себя трехкомпонентную осесимметричную часть (балдж, диск, гало) со встроенным центральным вытянутым баром в виде трехосного эллипсоида, а также астрометрических данных с космического аппарата Gaia, необходимых для формирования 6D фазового

*e-mail: bajkova@gaoran.ru

Таблица 1: Список шаровых скоплений, орбиты которых исследовались в настоящей работе.

№	ID	№	ID	№	ID	№	ID	№	ID
1	NGC 6144	10	BH 229	19	NGC 6453	28	NGC 6642	37	NGC 6540
2	ESO 452-11	11	Liller 1	20	Terzan 9	29	NGC 6717	38	NGC 6325
3	NGC 6266	12	NGC 6380	21	NGC 6522	30	NGC 6723	39	Djorg 2
4	NGC 6273	13	Terzan 1	22	NGC 6528	31	Terzan 3	40	NGC 6171
5	NGC 6293	14	NGC 6401	23	NGC 6558	32	NGC 6256	41	NGC 6316
6	NGC 6342	15	Palomar 6	24	NGC 6624	33	NGC 6304	42	NGC 6388
7	NGC 6355	16	Terzan 5	25	NGC 6626	34	Pismis 26	43	NGC 6539
8	Terzan 2	17	NGC 6440	26	NGC 6638	35	NGC 6569	44	NGC 6553
9	Terzan 4	18	Terzan 6	27	NGC 6637	36	ESO 456-78	45	NGC 6652

пространства для интегрирования орбит, дается в уже упомянутой работе BSB2023. Там же производится отбор 45 шаровых скоплений (таблица 1) в центральной части Млечного Пути в пределах области радиусом 3.5 кпк. В работе BSB2023 даются также все необходимые литературные ссылки. Поэтому в данной работе мы опускаем все технические детали, связанные с описанием гравитационного потенциала, данных, а также с отбором шаровых скоплений, ограничиваясь лишь ссылкой на основную статью BSB2023.

Альтернативный подход к решению задачи классификации орбит с использованием методов спектральной динамики, основанный на модели потенциала Млечного Пути, полученной в результате N-body расчетов, рассмотрен в работе Смирнов, Байкова и Бобылев (2023). Важное отличие такой модели от модели, используемой в данной работе, заключается в том, что она является самосогласованной и бар формируется естественным образом за счет неустойчивости звездного диска относительно бароподобных возмущений. Это направление изучения влияния бара является очень интересным и перспективным и требует отдельного исследования. В данной работе мы ограничиваемся моделью, когда бар-компонента потенциала просто “накладывается” поверх диска, как принято в большинстве работ.

Статья структурирована следующим образом. В первом разделе дается подробное описание процедуры вычисления доминантных частот орбит. Во втором разделе рассматриваются свойства доминантных частот, получено аналитическое выражение для зависимости доминантной частоты f_{χ} от угловой скорости вращения бара, дается иллюстрация частотного анализа на примере шарового скопления NGC 6266. Третий раздел посвящен непосредственно частотному анализу орбит всех 45 шаровых скоплений, построенных в результате варьирования параметров бара в широком диапазоне значений. В Заключение перечислены основные выводы работы.

1 Вычисление доминантных частот

На рис. 1 приведены для сравнения кривая вращения Галактики для осесимметричного потенциала без бара (черная линия) и кривая вращения неосесимметричного потенциала с баром, усредненная по азимуту (красная линия). Отметим, что при добавлении бара в модель, масса бара M_{bar} вычиталась из массы балджа M_b . Кривая вращения неосесимметричного потенциала получена при следующих базовых параметрах бара: масса $M_{bar} = 430 \times M_G$ (где $M_G = 2.325 \times 10^7 M_{\odot}$ – единица галактической массы), что соответствует 95% массы балджа; длина большой полуоси $q_b = 5$ кпк; отношение большой оси к малой = 2.38; сплюснутость бара в вертикальном направлении = 3.03; угловая скорость вращения $\Omega_b = 40$ км/с/кпк (см. также BSB2023). Из рисунка видно, что введение бара с массой, почти равной массе балджа, существенно повлияло на форму кривой вращения в центральной области Галактики, что неизбежно должно повлиять на орбитальную динамику отобранных шаровых скоплений.

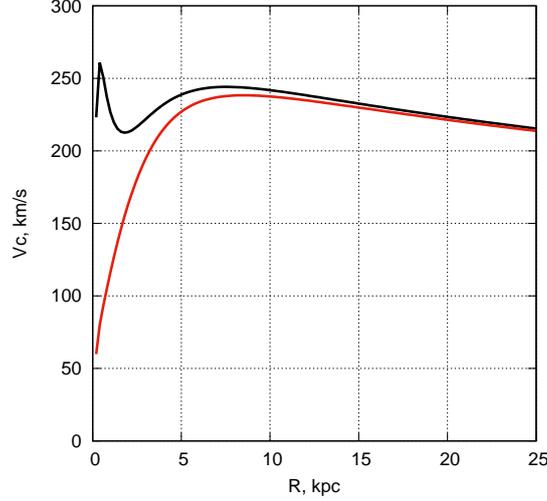


Рис. 1: Кривая вращения Галактики с осесимметричным потенциалом без бара (черная линия) и неосесимметричным потенциалом, включающем бар (красная линия).

Перейдем к нашей задаче.

Спектральная динамика орбит на практике основывается на вычислении модуля дискретного преобразования Фурье (ДПФ) равномерных временных рядов x_n, y_n, z_n и $R_n, n = 0, \dots, N - 1$ (N - длина ряда), по координатам X, Y, Z и цилиндрическому расстоянию R .

Так, например, для ряда $x_n, n = 0, \dots, N - 1$ формула для модуля ДПФ будет выглядеть следующим образом:

$$X_k = \left| \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n \exp(-j \frac{2\pi \times n \times k}{N}) \right|, \quad k = 0, \dots, N - 1. \quad (1)$$

Аналогично можно записать формулу для других последовательностей. При этом длина ряда выбирается равной $N = 2^\alpha$, где α целое, >0 , чтобы можно было применить для вычисления ДПФ алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ). Нужная длина ряда достигается путем дополнения реального ряда нулями.

В нашем случае длина реальных последовательностей равна 2500, поскольку мы интегрируем орбиты на 2.5 млрд лет назад с интервалом интегрирования 1 млн лет. Перед вычислением ДПФ мы предварительно центрируем ряды координат (т.е. избавляемся от постоянной составляющей), затем дополняем полученные последовательности x_n, y_n, z_n и R_n нулевыми отсчетами при $n > 2500$ до достижения длины всей анализируемой последовательности $N = 8192 = 2^{13}$. Отметим, что дополнение исходной последовательности нулями полезно также с точки зрения увеличения точности координат спектральных составляющих, что актуально в нашем случае, поскольку нашей задачей является определение координат максимальных точек амплитудного спектра. Поскольку интервал между отсчетами последовательностей во времени равен $\Delta_t = 0.001$ млрд лет, то анализируемый частотный диапазон, который является периодической функцией, составляет $F = 1/\Delta_t = 1000 \text{ Gyr}^{-1}$. Дискрет по частоте составляет $\Delta_F = F/N \approx 0.122 \text{ Gyr}^{-1}$. В дальнейшем для удобства мы на графиках будем указывать не физические частоты, а номера отсчетов k дискретного преобразования Фурье (1). Переход от k к физической частоте может быть произведен по формуле: $f = k \times \Delta_F \approx k \times 0.122$. Как уже говорилось выше, доминантой, или характерной частотой анализируемого ряда являются та, в которой спектр мощности (1) достигает максимального значения.

Таблица 2: Значения доминантных частот (номера отсчетов ДПФ) для ШС NGC 6266 в зависимости от угловой скорости бара Ω_b .

Ω_b км/с/кпк	f_X	f_Y	f_Z	f_R	f_R/f_X
0	102	102	161	178	1.75
10	87	87	165	173	1.99
20	75	75	163	176	2.35
30	62	62	161	176	2.84
40	48	48	160	174	3.63
50	36	36	161	175	4.86
60	21	21	159	172	8.19

2 Свойства доминантных частот

Моделирование орбит всех ШС нашей выборки с варьированием такого важного параметра как угловая скорость вращения бара Ω_b , которая известна на сегодняшний день с большой неопределенностью, позволило нам выявить следующие свойства и закономерности доминантных частот орбит, вычисляемых в системе вращающегося бара:

1) у большинства ШС доминантная частота f_R практически не изменяется с изменением угловой скорости вращения бара;

2) доминантная частота f_X зависит от угловой скорости вращения бара Ω_b по закону:

$$f_X(\Omega_b) \approx f_X(0) + (-)K \times \Omega_b, \quad (2)$$

где $K=0.1587$ кпк с/км/Гуг, что приводит к систематическому смещению отношения частот f_R/f_X с изменением Ω_b ;

3) для большинства ШС выполняется соотношение $f_X = f_Y$;

4) доминантная частота f_Z практически не изменяется с изменением скорости вращения бара.

Проиллюстрируем перечисленные свойства на примере шарового скопления NGC 6266. В таблице 2 приводятся значения доминантных частот (номера отсчетов ДПФ) в зависимости от величины Ω_b при $M_{bar} = 430 \times M_G$, $q_b = 5$ кпк.

Из таблицы 2 видно, что доминантные частоты f_R и f_Z практически не зависят от скорости вращения бара и изменяются в пределах 175 ± 3 и 161 ± 2 соответственно. Причем разброс в значениях связан, в основном, с эффектом дискретизации анализируемых последовательностей. Точно выполняется соотношение $f_X = f_Y$. Что касается доминантной частоты f_X , то ее изменение при изменении угловой скорости бара на 10 единиц составляет 13 ± 1 единиц в отсчетах ДПФ или примерно 13×0.122 в единицах Гуг⁻¹, т.е. справедливо выражение (2). В случае NGC 6266 второе слагаемое в правой части выражения (2) входит со знаком плюс, но, как показывает моделирование орбит других ШС, это слагаемое может входить и со знаком минус, при этом полученное значение коэффициента K справедливо для всех ШС. Также отметим, что значение коэффициента K не зависит от массы и длины бара. Изменение f_X с изменением Ω_b при условии, что f_R практически не зависит от Ω_b , приводит к систематическому смещению отношения f_R/f_X , что мы и видим в последней колонке таблицы 2. Как следует из полученных значений f_R/f_X , шаровое скопление NGC 6266 при данной массе и длине бара может быть захвачено баром только если его угловая скорость составляет 10 км/с/кпк.

Графическая иллюстрация результатов моделирования орбит NGC 6266 при различных скоростях бара представлена на рис. 2–4.

На рис. 2 показаны орбиты NGC 6266, построенные как в осесимметричном потенциале, так и в потенциале с баром, вращающимся с угловой скоростью $\Omega_b = 40$ км/с/кпк.

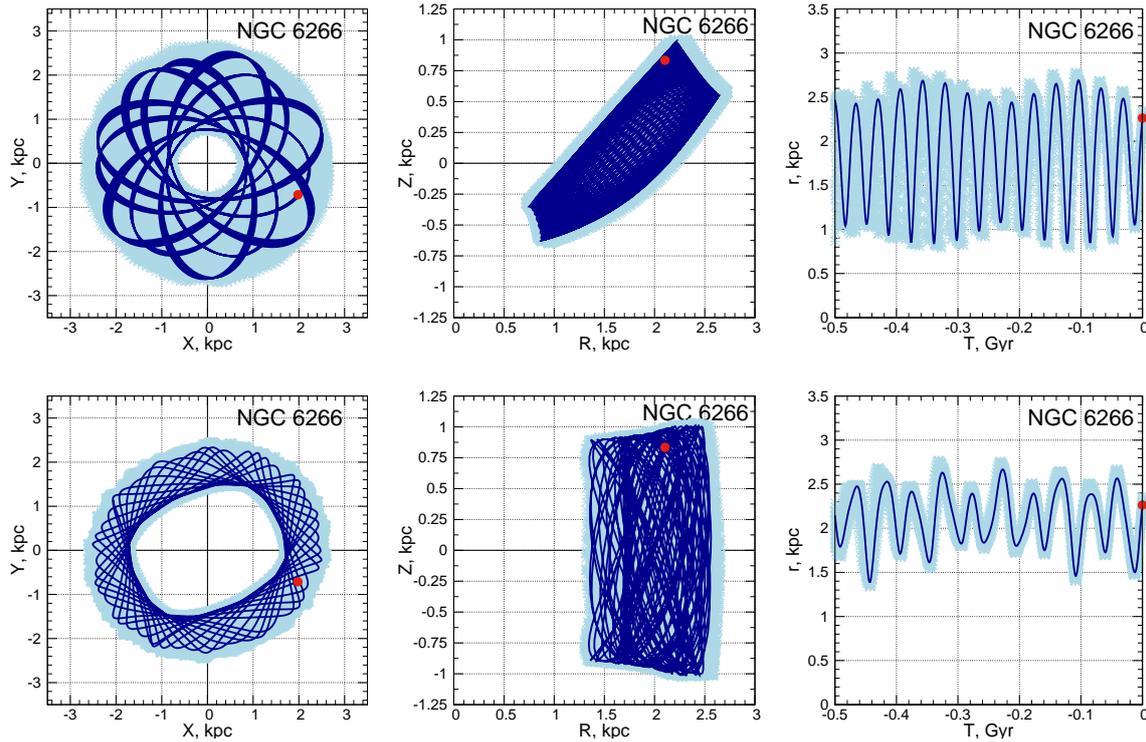


Рис. 2: Орбиты шарового скопления NGC 6266 в осесимметричном потенциале (верхний ряд) и в неосесимметричном потенциале со следующими параметрами бара: $M_{bar} = 430 \times M_G$, $q_b = 5$ кпк, $\Omega_b = 40$ км/с/кпк (нижний ряд). Приведены XY -проекции (левые панели), RX -проекции (средние панели) и зависимость величины радиус-вектора орбиты $r = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$ от времени (правые панели). Орбиты, соответствующие номинальным начальным значениям фазового пространства, показаны темно-синим цветом. Орбиты, полученные в результате Монте-Карло моделирования, показаны голубым цветом. В случае неосесимметричного потенциала орбиты вычислены в системе вращающегося бара.

Функции координат орбит от времени $R(t), x(t), y(t), z(t)$ для различных угловых скоростей вращения бара Ω_b приводятся на рис. 3.

Спектры мощности дискретных последовательностей координат орбит x_n, y_n, z_n и R_n , вычисленные по формуле (1) для различных Ω_b , приводятся на рис. 4.

Графическая иллюстрация эффекта смещения доминантной частоты f_X с изменением Ω_b для всех всех 45 ШС приведена на рис. 5. Здесь на графике по оси абсцисс отложены порядковые номера шаровых скоплений (см. таблицу 1), а по оси ординат – значения смещения частоты $\Delta_x = f_X(\Omega_b) - f_X(0)$ (в отсчетах ДПФ) для различных значений угловой скорости вращения бара. Видно, что для подавляющего большинства шаровых скоплений выполняется соотношение (2), причем смещение может быть как положительным, так и отрицательным.

На рис. 6 показаны диаграммы " $f_X - f_R$ ", " $f_R - f_Z$ " и " $f_X - f_Y$ " для всех 45 шаровых скоплений при значениях скорости вращения бара $\Omega_b = 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60$ км/с/кпк, подтверждающие, за небольшим исключением, перечисленные выше свойства доминантных частот. Отметим, что эти исключения представляют самостоятельный интерес и требуют отдельного исследования в дальнейшем.

3 Частотный анализ орбит, построенных при различных параметрах бара

В предыдущем разделе была изучена зависимость доминантных частот от угловой скорости вращения бара. Как показало моделирование, значения доминантных частот зависят также от массы

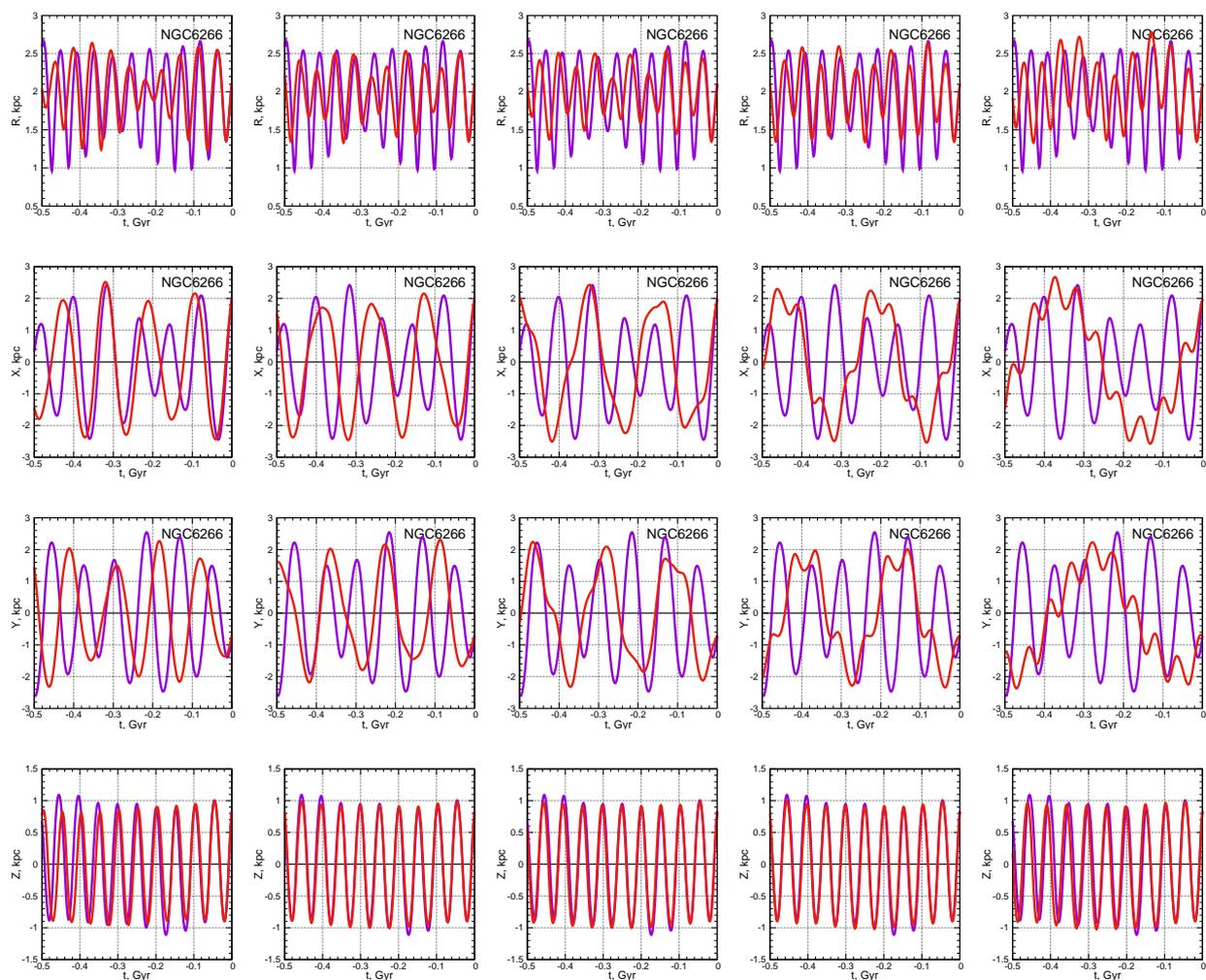


Рис. 3: Зависимости $R(t)$, $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ (сверху вниз) орбит шарового скопления NGC 6266 от угловой скорости вращения бара $\Omega_b = 20, 30, 40, 50, 60$ км/с/кпк (слева направо) показаны красным цветом. Для сравнения фиолетовым цветом показаны аналогичные зависимости при $\Omega_b = 0$ км/с/кпк.

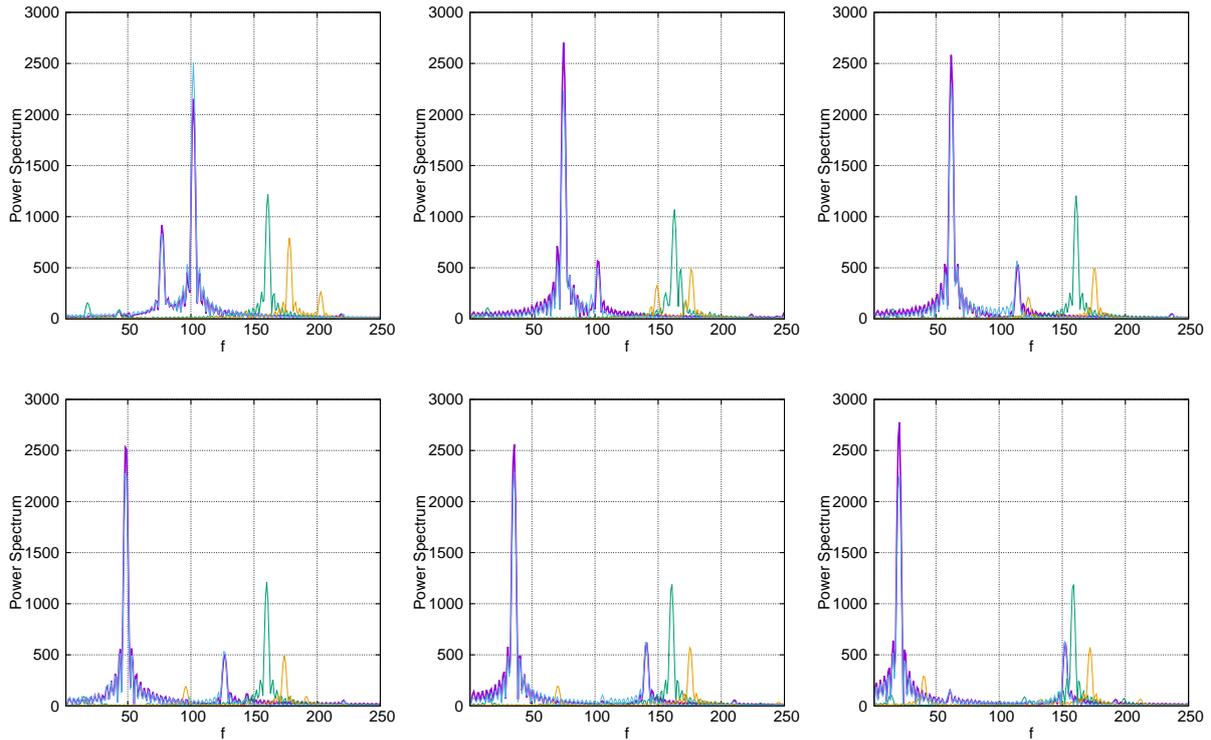


Рис. 4: Спектры мощности орбит шарового скопления NGC 6266 ($M_{bar} = 430 \times M_G$, $q_b = 5$ кпк). Спектры мощности X_k, Y_k, Z_k и R_k показаны фиолетовым, голубым, зеленым и желтым цветом соответственно. Угловая скорость вращения бара $\Omega_b = 0, 20, 30, 40, 50, 60$ км/с/кпк (слева направо и сверху вниз).

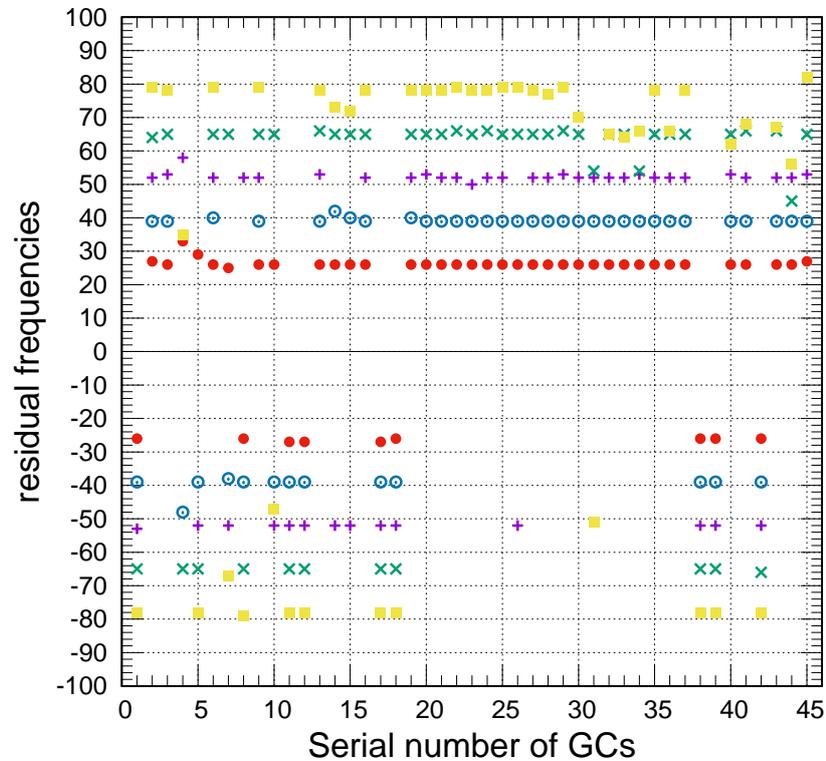


Рис. 5: Смещение доминантной частоты $f_X(\Omega_b)$ относительно частоты $f_X(0)$: $\Delta_x = f_X(\Omega_b) - f_X(0)$ (по оси ординат), для всей выборки из 45 ШС при угловой скорости вращения бара $\Omega_b = 20, 30, 40, 50$ и 60 км/с/кпк, показанной красным, голубым, фиолетовым, зеленым и желтым цветом соответственно. По оси абсцисс отложены порядковые номера ШС в соответствии с таблицей 1.

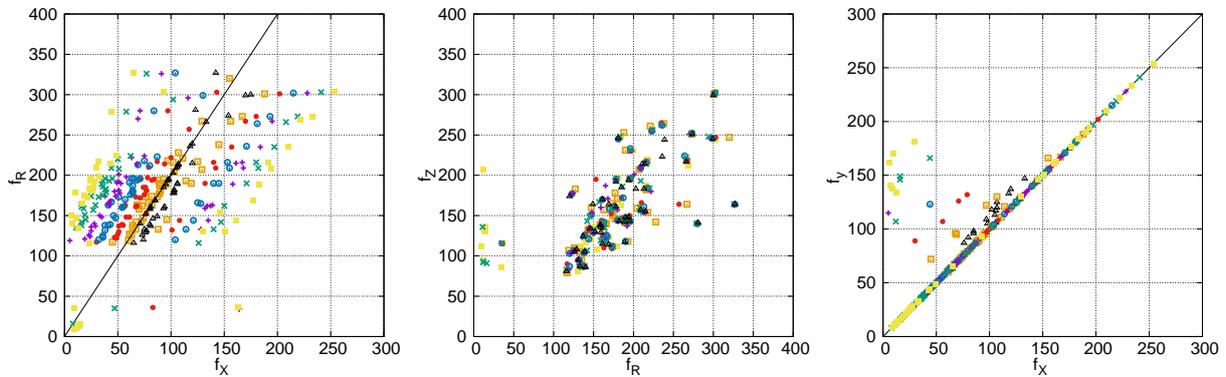


Рис. 6: Диаграммы " $f_X - f_R$ " (левая панель), " $f_R - f_Z$ " (средняя панель) и " $f_X - f_Y$ " (правая панель) при значениях угловой скорости вращения бара $\Omega_b = 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60$ км/с/кпк, показанных черным, оранжевым, красным, голубым, фиолетовым, зеленым, желтым цветом соответственно ($M_{bar} = 430 \times M_G$, $q_b = 5$ кпк). Линией на левом графике показана прямая, соответствующая отношению $f_R/f_X = 2$, на правом графике – отношению $f_X/f_Y = 1.0$.

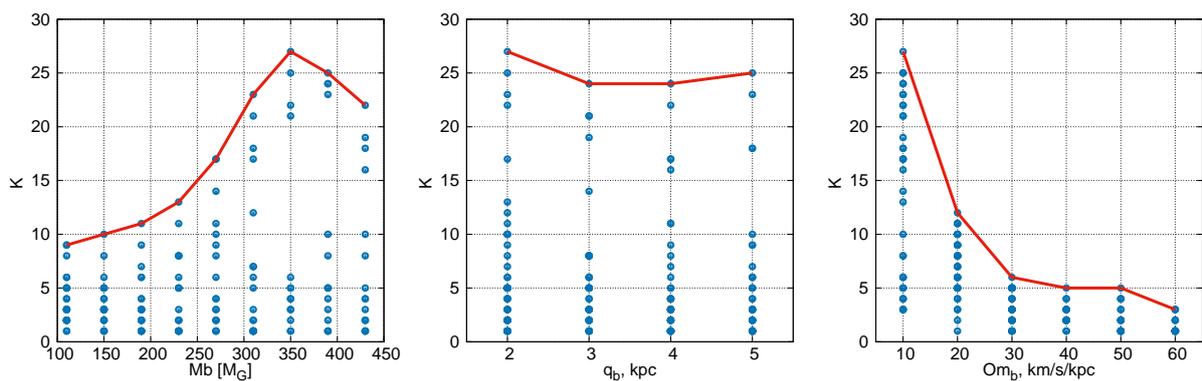


Рис. 7: Зависимость числа шаровых скоплений с отношением частот $f_R/f_X \approx 2$ от величины параметров бара M_{bar} , q_b , Ω_b (слева направо)

и размера бара. Мы провели моделирование орбитального движения всех 45 ШС на достаточно плотной сетке параметров бара, а именно, масса бара M_{bar} изменялась в интервале $[110-430] \times M_G$ с шагом $10 \times M_G$, длина бара q_b – в интервале $[2-5]$ кпк с шагом 0.25 кпк, угловая скорость бара Ω_b – в интервале значений $[10-60]$ км/с/кпк с шагом 2.5 км/с/кпк.

Далее, для каждой орбиты вычислялось отношение доминантных частот f_R/f_X с целью определения, захвачена орбита баром с соответствующими параметрами или нет, по критерию $f_R/f_X = 2 \pm 0.1$. В итоге на рис. 7 показаны полученные зависимости числа шаровых скоплений с $f_R/f_X \approx 2$ от значений параметров бара – массы, длины и угловой скорости вращения. Как видно из рисунка, число шаровых скоплений, удовлетворяющих критерию $f_R/f_X = 2 \pm 0.1$, сильнее всего зависит от массы и скорости вращения бара и достигает максимума при $M_{bar} = 350 \times M_G$ и $\Omega_b = 10$ км/с/кпк. От длины бара зависимость менее существенна, однако, надо отметить, что наибольшее число ШС с отношением частот $f_R/f_X \approx 2$ наблюдается при наименьшей длине бара в 2 кпк.

Таким образом, в результате проведенного моделирования мы определили для каждого набора значений (M_{bar}, q_b, Ω_b) из сетки параметров, обозначенной выше, шаровые скопления, удовлетворяющие критерию $f_R/f_X = 2 \pm 0.1$.

Приведем несколько примеров. Так, для наиболее реалистичных значений массы бара $M_{bar} = 430 \times M_G$ и длины бара $q_b = 5$ кпк (BSB2023) при скорости вращения бара $\Omega_b = 10$ км/с/кпк критерию $f_R/f_X = 2 \pm 0.1$ удовлетворяют шаровые скопления NGC 6266, 6342, 6522, 6558, 6626, 6717, 6304, 6540, 6171, 6316, 6553, Terzan 3, 4, 5, 9, Pismis 26; при $\Omega_b = 15$ км/с/кпк – ШС NGC 6266, 6717, 6304, 6540, Terzan 3, 4, 5; при $\Omega_b = 20$ км/с/кпк – ШС NGC 6540; при $\Omega_b = 30$ и 40 км/с/кпк – нет ни одного ШС, при $\Omega_b = 50$ км/с/кпк – ШС NGC 6539. При той же массе бара, но длине $q_b = 2.25$ кпк и скорости вращения $\Omega_b = 45$ км/с/кпк критерию $f_R/f_X = 2 \pm 0.1$ удовлетворяют ШС NGC 6266, 6522, 6540, 6553, Terzan 3, ESO 456-78.

Орбиты ШС с $f_R/f_X \approx 2$ в проекции на галактическую плоскость XY , вычисленные в системе вращающегося бара для первого и последнего примеров, приведены на рис. 8 и 9 соответственно. Из рисунков видно, что орбиты имеют эллипсоидальную форму, их ориентация относительно оси X совпадает с заданной ориентацией бара (25°). Так что приведенные орбиты можно с большой вероятностью считать захваченными баром с соответствующими параметрами.

4 Заключение

Произведено моделирование орбитальной динамики 45 шаровых скоплений в центральной области Галактики в широком диапазоне изменения массы, длины и угловой скорости вращения бара, встроеного в осесимметричный потенциал. Для интегрирования орбит использованы самые точные на сегодняшний день астрометрические данные со спутника Gaia (Vasiliev и Baumgardt, 2021), а также новые уточненные средние расстояния до шаровых скоплений (Baumgardt и Vasiliev, 2021).

Построенные орбиты исследованы методами спектральной динамики (Binney и Spergel, 1982), основанной на вычислении отношения доминантных частот f_R/f_X . При $f_R/f_X = 2 \pm 0.1$ считалось, что орбита захвачена баром. В результате были выявлены орбиты, поддерживающие бар, для каждого набора его параметров. Установлены параметры бара, при которых число захваченных орбит шаровых скоплений максимально. Приведены примеры орбит с $f_R/f_X \approx 2$.

Установлено, что доминантная частота f_R практически не зависит от угловой скорости вращения бара Ω_b , а доминантная частота f_X зависит от Ω_b по закону $f_X(\Omega_b) \approx f_X(0) + (-)K \times \Omega_b$, где $K=0.1587$ кпк с/км/Gyr, что приводит к систематическому смещению отношения частот f_R/f_X с изменением Ω_b . Эта интересная зависимость получена нами впервые и требует дальнейшего изучения.

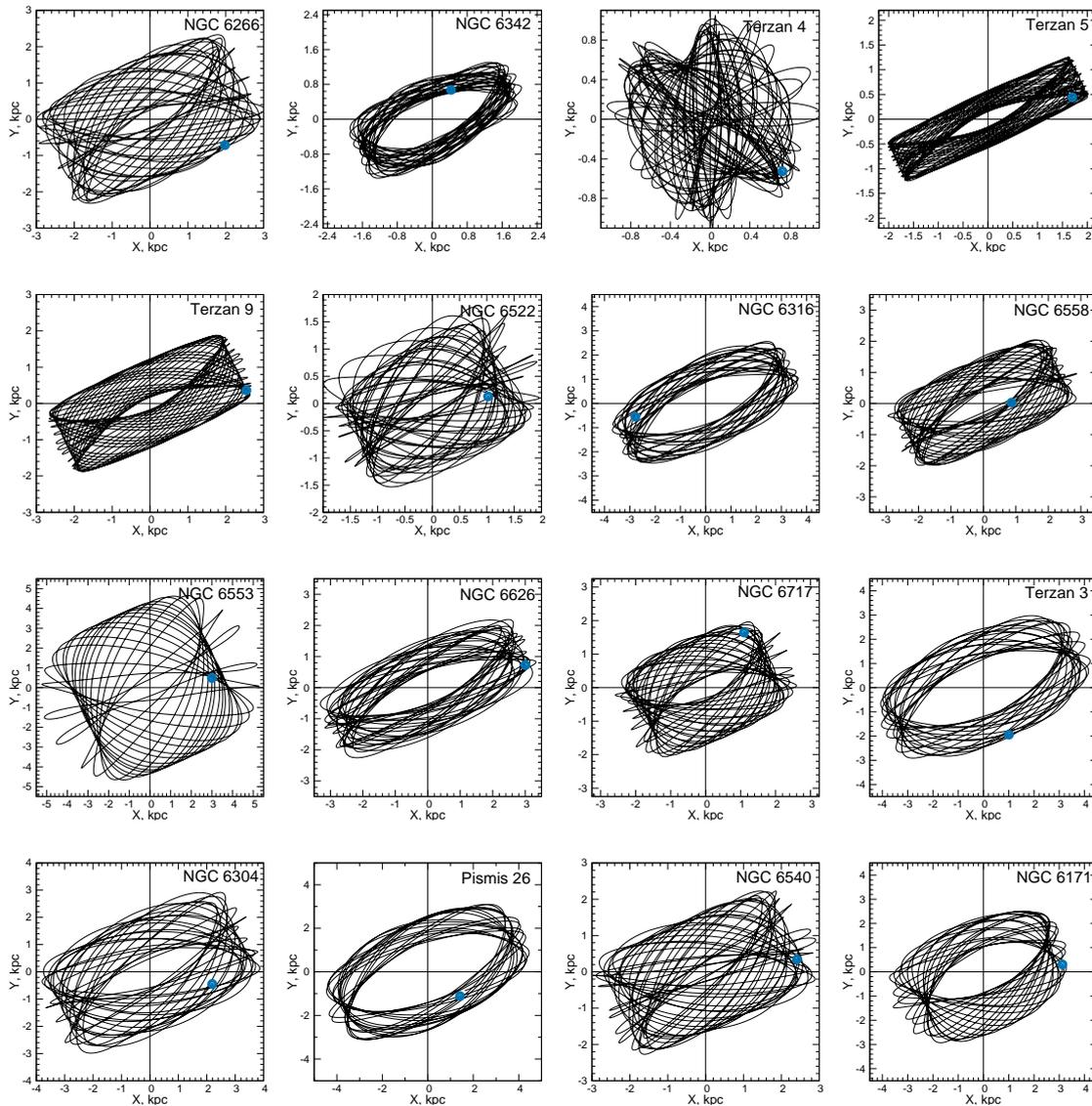


Рис. 8: Орбиты (в проекции на галактическую плоскость XY) шаровых скопления NGC 6266, 6342, 6522, 6558, 6626, 6717, 6304, 6540, 6171, 6316, 6553, Terzan 3, 4, 5, Pismis 26, построенные в системе вращающегося бара с параметрами $\Omega_b = 10$ км/с/кпк, $M_{bar} = 430M_G$, $q_b = 5$ кпк, удовлетворяющие отношению доминантных частот $f_R/f_X \approx 2$. Начало орбит обозначено синим кружочком.

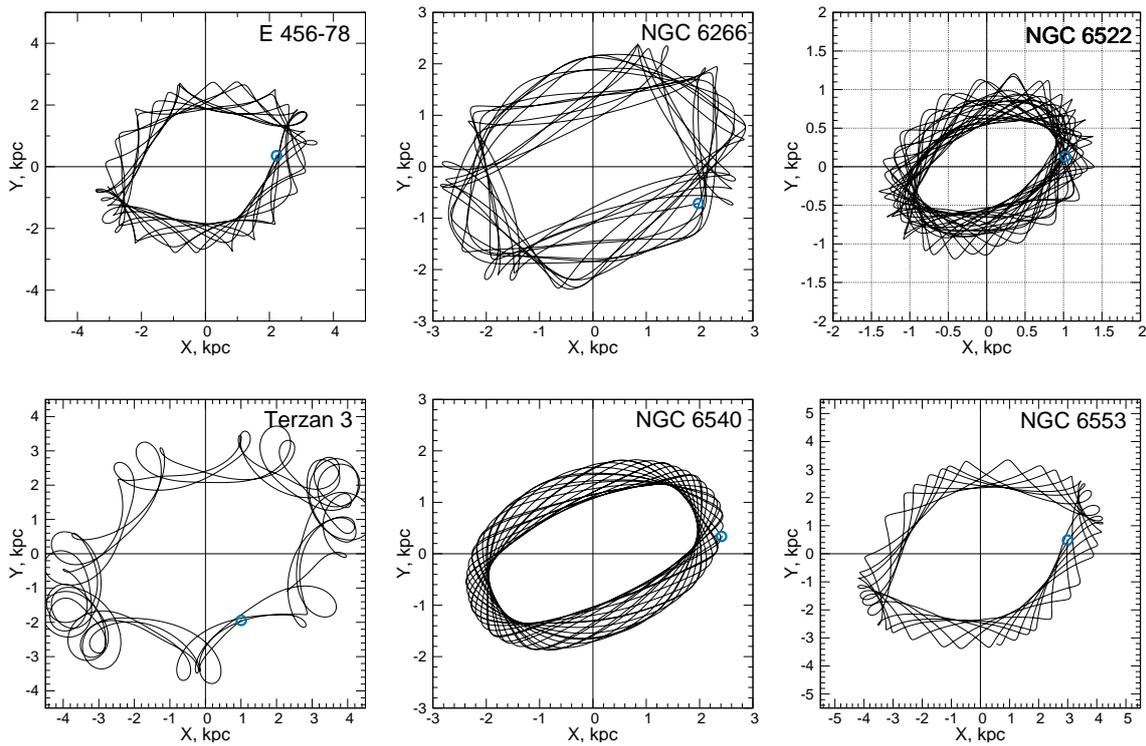


Рис. 9: Орбиты (в проекции на галактическую плоскость XY) шаровых скоплений NGC 6266, 6522, 6540, 6553, Terzan 3, ESO 456-78, построенные в системе вращающегося бара с параметрами $\Omega_b = 45$ км/с/кпк, $M_{bar} = 430 \times M_G$, $q_b = 2.25$ кпк, удовлетворяющие отношению доминантных частот $f_R/f_X \approx 2$. Начало орбит обозначено синим кружочком.

Список литературы

- Байкова, А. Т., А. А. Смирнов и В. В. Бобылев (2023). Шаровые скопления в центральной области Млечного Пути I. Влияние бара на параметры орбит по данным Gaia EDR3. Известия Главной Астрономической Обсерватории в Пулковке 228, с. 1.
- Vasiliev, E. и H. Baumgardt (2021). Gaia EDR3 view on galactic globular clusters. MNRAS 505.4, с. 5978–6002.
- Baumgardt, H. и E. Vasiliev (2021). Accurate distances to Galactic globular clusters through a combination of Gaia EDR3, HST, and literature data. MNRAS 505.4, с. 5957–5977.
- Binney, J. и D. Spergel (1982). Spectral stellar dynamics. ApJ 252, с. 308–321.
- Parul, H. D., A. A. Smirnov и N. Y. Sotnikova (2020). Orbital Ingredients for Cooking X-structures in Edge-on Galaxies. ApJ 895.1, с. 12.
- Смирнов, А. А., А. Т. Байкова и В. В. Бобылев (2023). Шаровые скопления, захваченные баром Млечного Пути. Известия Главной Астрономической Обсерватории в Пулковке 228, с. 157.

Globular clusters in the central region of the Milky Way galaxy. II. Frequency analysis of orbits built from Gaia ED3 data

A. T. Bajkova¹, A. A. Smirnov¹, V. V. Bobylev¹

¹ The Central Astronomical Observatory of the RAS at Pulkovo

Abstract

This work represents the second stage of research aimed at studying the influence of the bar on the orbital dynamics of globular clusters (Bajkova, Smirnov, and Bobylev, 2023). The orbits of 45 globular clusters in the central galactic region with a radius of 3.5 kpc have been analyzed by spectral dynamics methods in order to identify objects captured by the bar. Since the parameters of the bar of the Milky Way are known with a very large uncertainty, orbits were constructed and their frequency analysis was carried out with varying the mass, length and angular velocity of rotation of the bar in a wide range of values with a fairly dense grid. The orbits were integrated 2.5 billion years backward. As a result, globular clusters supporting the bar were identified for each set of bar parameters. To form the 6D phase space required for orbit integration, we used the most accurate astrometric data from the Gaia satellite (Vasiliev and Baumgardt, 2021), as well as new refined average distances to globular clusters (Baumgardt and Vasiliev, 2021).