

Анализ регулярности/хаотичности динамики шаровых скоплений в центральной области Млечного Пути

Аниса Байкова, Антон Смирнов, Вадим Бобылев

ГАО РАН

Проведен анализ регулярности/хаотичности орбит 45 шаровых скоплений в центральной области Галактики радиусом 3.5 кпк, подверженных наибольшему воздействию со стороны вытянутого вращающегося бара. Используются различные методы анализа, а именно, методы вычисления максимальных характеристических показателей Ляпунова, метод сечений Пуанкаре, частотный метод, основанный на вычислении фундаментальных частот, а также метод визуальной оценки. Обнаружена бимодальность в гистограмме распределения положительных показателей Ляпунова, вычисленных в классическом варианте, без перенормировки теневой орбиты, позволяющая реализовать вероятностный метод классификации ШС. Для построения орбит шаровых скоплений использована модель гравитационного потенциала с баром в виде трехосного эллипсоида, подробно описанная в работе Байковой и др., Известия ГАО в Пулковке, 2023, 228, 1. Приняты следующие параметры бара: масса $10^{10} M_{\odot}$, длина большой полуоси 5 кпк, угол поворота оси бара 25° , скорость вращения 40 км/с/кпк. Для формирования 6D-фазового пространства, требуемого для интегрирования орбит, использованы самые точные на сегодняшний день астрометрические данные со спутника Gaia (EDR3) (Vasiliev, Baumgardt, 2021), а также новые уточненные средние расстояния до шаровых скоплений (Baumgardt, Vasiliev, 2021). Произведена классификация шаровых скоплений с регулярной и хаотической динамикой. Как показал анализ, шаровые скопления, обладающие малыми периферическими расстояниями и большими эксцентриситетами, в наибольшей степени подвержены влиянию бара и демонстрируют наибольшую хаотичность. Показано, что результаты классификации шаровых скоплений по характеру орбитальной динамики, полученные с использованием рассмотренных в работе различных методов анализа, хорошо коррелируют друг с другом.

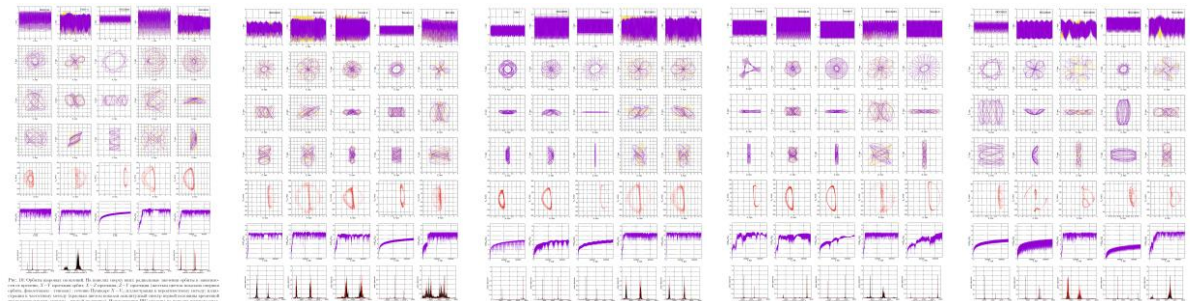


Fig. 2. Same as in Fig. 1, but for the Lyapunov exponent distribution and Poincaré section of the shadow orbits.

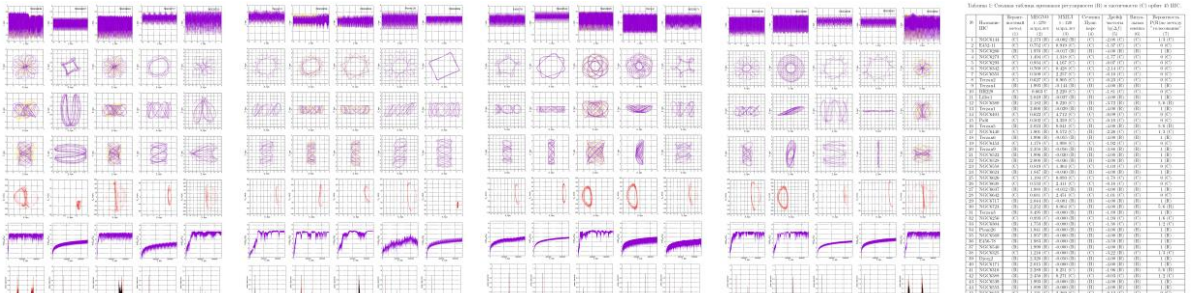


Table 1. Same as in Table 2, but for the Lyapunov exponent distribution and Poincaré section of the shadow orbits.

Cluster	Distance (kpc)	Mass (M_{\odot})	Major axis (kpc)	Minor axis (kpc)	Bar angle ($^{\circ}$)	Rotation speed (km/s)	Lyapunov exponent	Poincaré section
1	0.5	10000	5.0	1.0	25	40	0.95	0.95
2	0.5	10000	5.0	1.0	25	40	0.60	0.60
3	0.5	10000	5.0	1.0	25	40	0.91	0.91
4	0.5	10000	5.0	1.0	25	40	0.86	0.86
5	0.5	10000	5.0	1.0	25	40	0.96	0.96
6	0.5	10000	5.0	1.0	25	40	0.91	0.91
7	0.5	10000	5.0	1.0	25	40	0.96	0.96

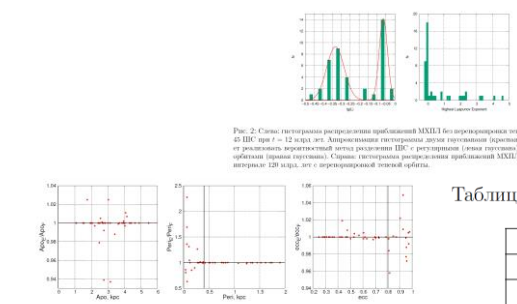


Fig. 4. Histograms of the Lyapunov exponent distribution and scatter plots of the Lyapunov exponent vs. other parameters.

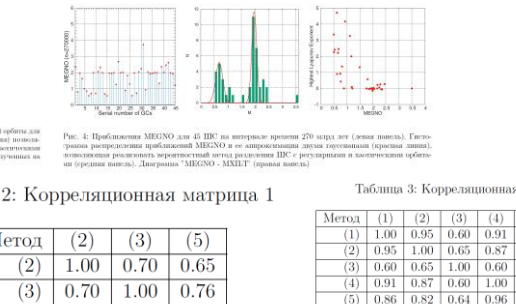


Fig. 5. Histograms of the Lyapunov exponent distribution and scatter plots of the Lyapunov exponent vs. other parameters.

Таблица 2: Корреляционная матрица 1

Метод	(2)	(3)	(5)
(1)	0.95	0.60	0.91
(2)	1.00	0.70	0.65
(3)	0.70	1.00	0.76
(5)	0.65	0.76	1.00

Таблица 3: Корреляционная матрица 2

Метод	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
(1)	1.00	0.95	0.60	0.91	0.86	0.96	0.96
(2)	0.95	1.00	0.65	0.87	0.82	0.91	0.95
(3)	0.60	0.65	1.00	0.60	0.64	0.55	0.74
(4)	0.91	0.87	0.60	1.00	0.96	0.96	0.96
(5)	0.86	0.82	0.64	0.96	1.00	0.91	0.94
(6)	0.96	0.91	0.55	0.96	0.91	1.00	0.96
(7)	0.96	0.95	0.74	0.96	0.94	0.96	1.00