

УДК 524.6-34

СРАВНЕНИЕ ОРБИТАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ШАРОВЫХ СКОПЛЕНИЙ МЛЕЧНОГО ПУТИ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО ДАННЫМ КАТАЛОГОВ Gaia DR2 И EDR3

© 2021 г. А. Т. Байкова¹, *, В. В. Бобылев¹

¹ Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Пулково, Россия

*E-mail: bajkova@gaoran.ru

Поступила в редакцию 04.04.2021 г.

После доработки 30.04.2021 г.

Принята к публикации 30.04.2021 г.

Приведены новые значения орбитальных параметров 152 шаровых скоплений, вычисленные с использованием новых средних собственных движений, полученных по данным каталога Gaia EDR3. Интегрирование орбит на 5 млрд. лет назад выполнено в осесимметричном трехкомпонентном потенциале со сферическим балджем, дисковым компонентом и сферическим темным гало в форме Наварро–Фрэнк–Уайта, уточненном нами по кривой вращения объектов с большими галактоцентрическими расстояниями, вплоть до 200 кпк. Выполнено сравнение полученных орбитальных параметров с орбитальными параметрами тех же шаровых скоплений, вычисленными нами ранее в том же гравитационном потенциале с использованием собственных движений, полученных по данным каталога Gaia DR2. Выделены объекты, орбиты которых претерпели существенные изменения.

Ключевые слова: шаровые скопления, Галактика (Млечный Путь)

DOI: 10.31857/S0004629921090012

1. ВВЕДЕНИЕ

Шаровые звездные скопления (ШС) являются одними из самых интересных объектов нашей Галактики. Их изучение позволяет понять рождение и эволюцию Галактики, поскольку они являются самыми старыми звездными образованиями. Их возраст почти равен возрасту Вселенной. В настоящее время известно около 170 ШС Млечного Пути. По теоретическим оценкам число ШС Млечного Пути может составлять порядка 200.

Одним из методов исследований ШС является изучение их орбитального движения, которое стало возможным благодаря измерениям с высокой точностью их пространственных скоростей и положений с космического аппарата Gaia. Появление каталогов средних собственных движений уже по данным второго релиза DR2 в сочетании с другими астрометрическими данными о лучевых скоростях и положениях ШС сделало реальным изучение орбитального движения почти всех известных на сегодняшний день ШС [1–3].

Среди каталогов астрометрических данных с собственными движениями из Gaia DR2 особо отметим каталог Васильева (2019) для 150 ШС [3], который позволяет строить 6d фазовое пространство, необходимое для вычисления орбит. Этот каталог был использован нами для исследования

орбитальных свойств ШС, и на этой основе мы разработали новый метод разделения ШС по подсистемам Галактики: балджа, толстого диска и гало [4]. Предложенный нами метод разделения основан на обнаруженной нами бимодальности в распределении ШС по параметру L_Z/ecc , где L_Z – Z-компонент углового момента, ecc – эксцентриситет орбиты. Благодаря этой бимодальности, ШС, принадлежащие диску, т.е. те, которые образовались в самой Галактике, и ШС гало, имеющие внегалактическое происхождение, могут быть легко отделены друг от друга вероятностным методом, подробно описанным в [4].

В работе [5] Массари и др. дают классификацию ШС гало, которые образовались вне Млечного Пути и оказались в нашей Галактике в результате аккреции с карликовых галактик (Sagittarius, Sausage, Sequoia [6]). В работе [7] представлен каталог орбит 152 ШС и их орбитальных параметров, а также модифицированная нами классификация по подсистемам Галактики, исходя из полученных орбитальных свойств ШС. Эта классификация подтверждается и в данной работе.

С появлением новой, более точной версии каталога собственных движений ШС [8], основанной на данных измерений Gaia EDR3, возникает

естественная задача уточнения орбитальных параметров ШС, выявления ШС, орбитальное движение которых претерпело наибольшие изменения. Этому и посвящена данная работа.

Работа структурирована следующим образом. В первом разделе дано краткое описание и обоснование принятой модели гравитационного потенциала, в котором производится интегрирование орбит ШС, приведены уравнения движения и даны формулы для вычисления орбитальных параметров. Во втором разделе дано описание данных, приведено сравнение средних собственных движений и их неопределенностей, полученных по данным каталогов Gaia DR2 и EDR3. Третий раздел посвящен обсуждению результатов работы, приведен каталог орбитальных параметров ШС, вычисленных по данным каталога Gaia EDR3, выполнено их сравнение с орбитальными параметрами, полученными по данным каталога Gaia DR2 и опубликованными в [7], приведены орбиты для ряда ШС, претерпевших наибольшие изменения. В Заключении сделаны основные выводы.

2. МЕТОД

2.1. Модель осесимметричного галактического потенциала

Осесимметричный гравитационный потенциал Галактики представлен в виде суммы трех компонентов: центрального сферического балджа $\Phi_b(r(R, Z))$, диска $\Phi_d(r(R, Z))$ и массивного сферического гало темной материи $\Phi_h(r(R, Z))$ [9, 10]:

$$\Phi(R, Z) = \Phi_b(r(R, Z)) + \Phi_d(r(R, Z)) + \Phi_h(r(R, Z)). \quad (1)$$

Здесь мы используем цилиндрическую систему координат (R, ψ, Z) с началом в центре Галактики. В прямоугольной декартовой системе координат (X, Y, Z) с началом в центре Галактики расстояние до звезды (сферический радиус) равно $r^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 = R^2 + Z^2$.

Потенциалы балджа $\Phi_b(r(R, Z))$ и диска $\Phi_d(r(R, Z))$ выражены в форме, предложенной Миямото и Нагаи [11], а компонент гало представлен согласно работе Наварро и др. [12]. Конкретные значения параметров этой модели, при условии, что потенциал выражен в единицах $100 \text{ км}^2/\text{с}^2$, расстояния – в кпк, массы – в единицах массы Галактики, $M_0 = 2.325 \times 10^7 M_\odot$, гравитационная постоянная равна $G = 1$, даны в работе Байковой и Бобылева [9], где она обозначена как модель III.

Отметим, что принятая нами модель галактического потенциала, которую здесь, так же, как в работе [7], мы обозначаем NFWBВ, имеет пара-

метры, полученные в результате их подгонки к данным о круговых скоростях облаков ионизованного водорода HI, мазерных источников и различных объектов гало с большими галактоцентрическими расстояниями R вплоть до ~ 200 кпк из работы Бхаттачарджи и др. [13] (см. рис. 1). Кроме того, при подгонке параметров были использованы ограничения на локальную динамическую плотность материи $\rho_\odot = 0.1 M_\odot \text{ пс}^{-2}$ и силу, действующую перпендикулярно плоскости Галактики $|K_{z=1.1}|/2\pi G = 77 M_\odot \text{ пс}^{-2}$ [14].

Кривая вращения, соответствующая модели NFWBВ, показана на рис. 1. При построении этой кривой были использованы значения $R_\odot = 8.3$ кпк для галактоцентрического расстояния Солнца и $V_\odot = 244$ км/с для линейной скорости вращения местного стандарта покоя вокруг центра Галактики, как принято в работе [13]. Масса Галактики согласно этой модели [9] равна

$M_{G(R \leq 200 \text{ кпк})} = (0.75 \pm 0.19) \times 10^{12} M_\odot$. Это значение хорошо согласуется с современными независимыми оценками. Так, например, нижняя оценка массы NFW гало, полученная совсем недавно Коппельманом и Хелми [15] по данным о скоростях убегающих звезд гало, составляет

$M_{G(R \leq 200 \text{ кпк})} = 0.67_{-0.15}^{+0.30} \times 10^{12} M_\odot$. На рис. 1, в дополнение к имеющимся данным, нанесены также круговые скорости выделенных нами ШС толстого диска с эксцентриситетами орбит < 0.2 (синие точки), которые показывают хорошее согласие с данными по мазерным источникам на отрезке галактоцентрических расстояний $2 < R < 20$ кпк.

Модель гравитационного потенциала Млечного Пути NFWBВ представляется нам наиболее реалистичной по сравнению с другими известными моделями, поскольку она подкреплена данными на больших галактоцентрических расстояниях, что очень важно при интегрировании орбит далеких шаровых скоплений и скоплений с большим апоцентрическим расстоянием, а также дает хорошее согласие с современными оценками локальных параметров и рядом независимых оценок массы Галактики [10], тщательный обзор которых дан также в недавней работе Ванг и др. [16].

2.2. Интегрирование орбит

Уравнение движения пробной частицы в осесимметричном гравитационном потенциале может быть получено из лагранжиана системы \mathcal{L} (см. Приложение А в работе Ирранга и др. [14]):

$$\begin{aligned} \mathcal{L}(R, Z, \dot{R}, \dot{\psi}, \dot{Z}) = \\ = 0.5(\dot{R}^2 + (R\dot{\psi})^2 + \dot{Z}^2) - \Phi(R, Z). \end{aligned} \quad (2)$$

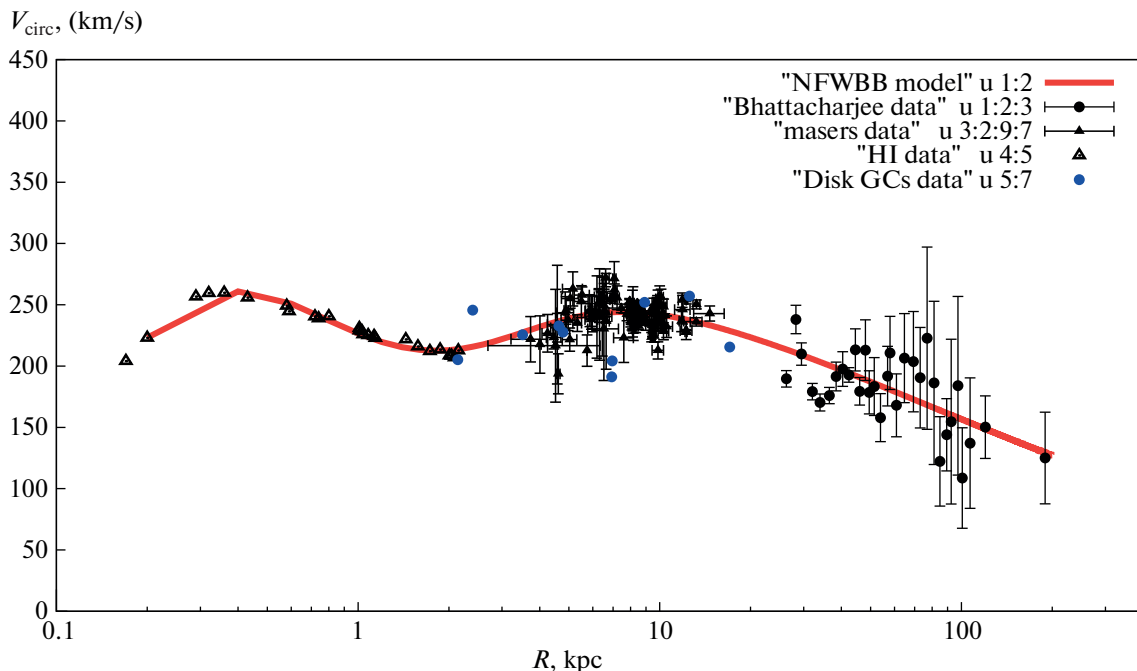


Рис. 1. Кривая вращения, соответствующая модели потенциала NFWBB. Синими точками нанесены круговые скорости ШС диска с эксцентриситетами орбит < 0.2 .

Введя канонические моменты

$$\begin{aligned} p_R &= \partial \mathcal{L} / \partial \dot{R} = \dot{R}, \\ p_\Psi &= \partial \mathcal{L} / \partial \dot{\psi} = R^2 \dot{\psi}, \\ p_Z &= \partial \mathcal{L} / \partial \dot{Z} = \dot{Z}, \end{aligned} \quad (3)$$

получаем уравнения Лагранжа в виде системы шести дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\begin{aligned} \dot{R} &= p_R, \\ \dot{\psi} &= p_\Psi / R^2, \\ \dot{Z} &= p_Z, \\ \dot{p}_R &= -\partial \Phi(R, Z) / \partial R + p_\Psi^2 / R^3, \\ \dot{p}_\Psi &= 0, \\ \dot{p}_Z &= -\partial \Phi(R, Z) / \partial Z. \end{aligned} \quad (4)$$

Для интегрирования уравнений (4) мы использовали собственный интегратор, реализующий алгоритм Рунге–Кутты четвертого порядка.

Пекулярная скорость Солнца относительно Местного стандарта покоя принималась равной $(u_\odot, v_\odot, w_\odot) = (11.1, 12.2, 7.3) \pm (0.7, 0.5, 0.4)$ км/с [17]. Здесь мы используем гелиоцентрические скорости в подвижной декартовой системе координат со скоростью u , направленной в сторону галактического центра, v — в направлении вращения Галактики, и w , перпендикулярной плоскости Галактики и направленной к северному полюсу Галактики.

Пусть начальные положения и пространственные скорости пробной частицы в гелиоцентрической системе координат равны $(x_o, y_o, z_o, u_o, v_o, w_o)$. Тогда начальные положения (X, Y, Z) и скорости (U, V, W) пробной частицы в декартовых координатах Галактики задаются формулами:

$$\begin{aligned} X &= R_\odot - x_o, & Y &= y_o, & Z &= z_o + h_\odot, \\ R &= \sqrt{X^2 + Y^2}, \\ U &= u_o + u_\odot, \\ V &= v_o + v_\odot + V_0, \\ W &= w_o + w_\odot, \end{aligned} \quad (5)$$

где R_\odot и V_\odot — галактоцентрическое расстояние и линейная скорость вращения Местного стандарта покоя вокруг центра Галактики, $h_\odot = 16$ пк [18] — высота Солнца над плоскостью Галактики.

В данной работе мы вычисляем следующие параметры орбит шаровых скоплений: 1) начальное расстояние ШС от центра Галактики d_{GC} ; 2) радиальную скорость Π ; 3) круговую скорость Θ ; 4) полную 3D скорость V_{tot} ; 5) апоцентрическое расстояние (*apo*) орбиты; 6) перицентрическое расстояние (*peri*) орбиты; 7) эксцентриситет (*ecc*) орбиты; 8) компоненты углового момента; 9) угол наклона орбиты θ ; 10) период орбиты T_p ; 11) полную энергию E .

Формулы для вычисления всех перечисленных орбитальных параметров приведены в работе [7].

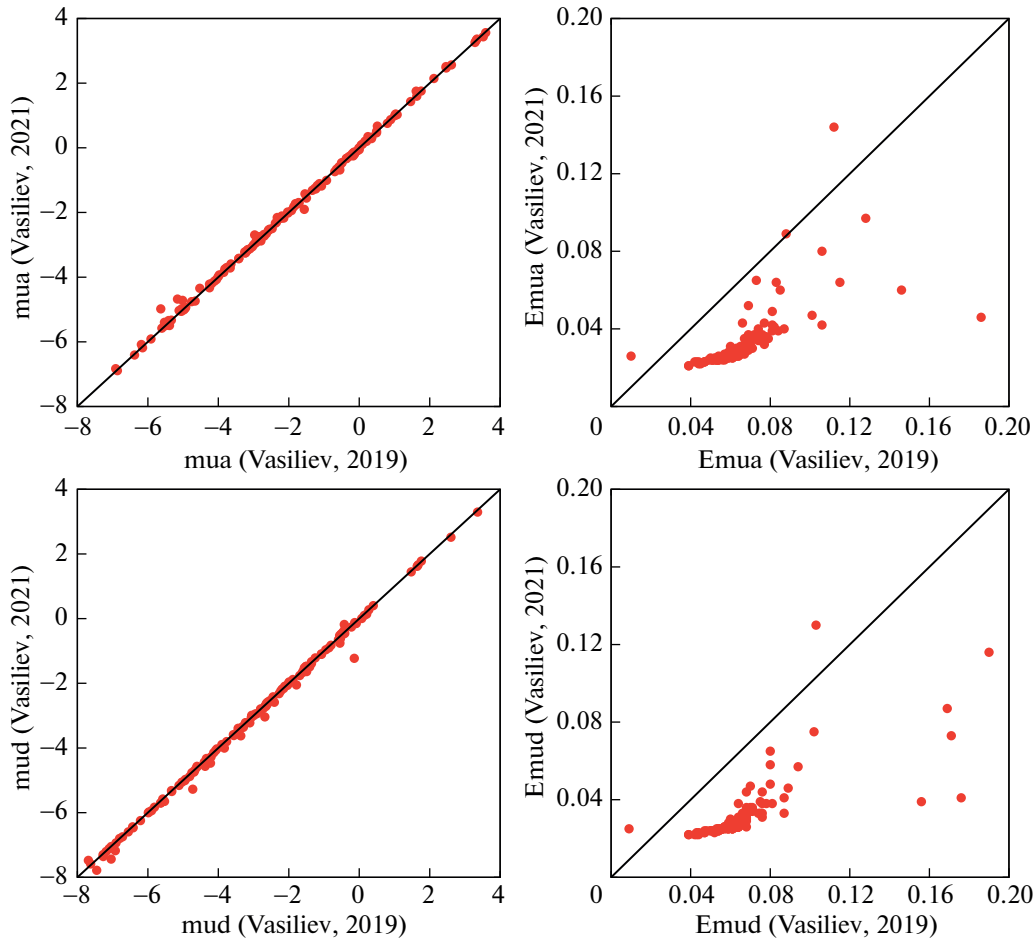


Рис. 2. Сравнение собственных движений ШС (по α , μ_{α} и δ , μ_{δ}) и их неопределенностей ($E\mu_{\alpha}$ и $E\mu_{\delta}$, соответственно) из каталога Васильева [3] (Gaia DR2, горизонтальная ось) и каталога Васильева и Баумгардта [8] (Gaia EDR3, вертикальная ось). На каждой панели нанесена линия совпадения.

Неопределенности орбитальных параметров вычислялись методом Монте-Карло с использованием 100 итераций с учетом неопределенностей в начальных координатах и скоростях ШС, а также ошибок в пекулярной скорости Солнца.

3. ДАННЫЕ

Для исследованных нами ранее 152 шаровых скоплений [7] с данными преимущественно из каталога Васильева [3] мы взяли только новые средние значения собственных движений и их неопределенностей из нового каталога Васильева и Баумгардта [8], полученного из данных каталога Gaia EDR3. Все остальные астрометрические данные (расстояния, лучевые скорости, координаты) остались прежними. Несмотря на то, что в новом каталоге Васильева и Баумгардта [8] даны также новые, более точные средние значения тригонометрических параллаксов, их неопределенность остается достаточно большой по срав-

нению с расстояниями, найденными по горизонтальной ветви гигантов [19], приведенными в каталоге Васильева [3].

На рис. 2 мы даем сравнение средних собственных движений из этих двух каталогов, полученных по измерениям Gaia DR2 и Gaia EDR3. Как следует из рисунка, новые значения собственных движений для ряда ШС заметно отличаются от старых. При этом точность измерения новых собственных движений в среднем повысилась в два раза.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ

В табл. 1 приведены орбитальные параметры 152 ШС, перечисленные в разделе 2.2, вычисленные для новых средних собственных движений EDR3 [8]. В последнем столбце таблицы (“Тип”) приведено обозначение принадлежности скопления той или иной подсистеме Галактики. Приняты следующие обозначения подсистем, схожие с

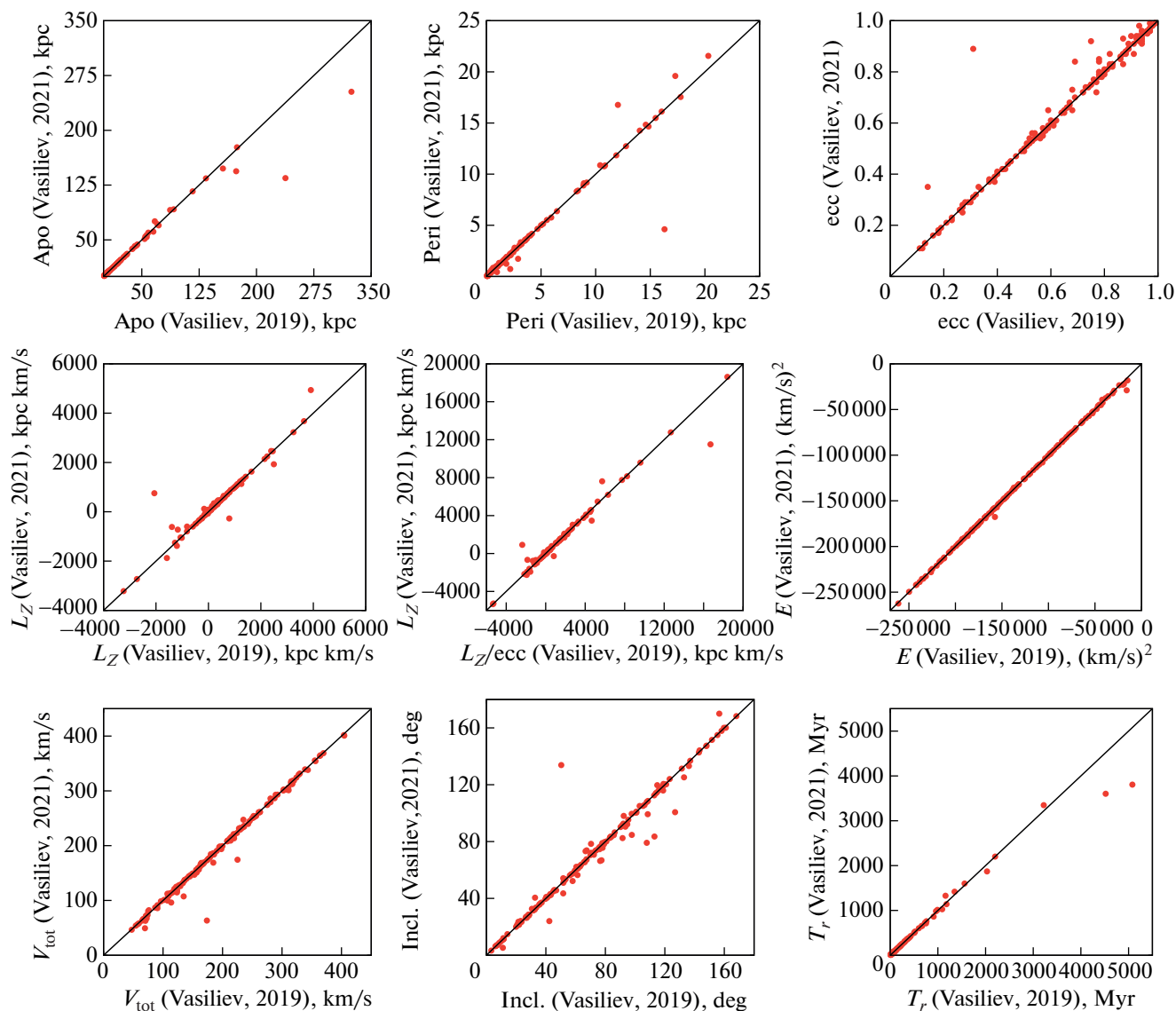


Рис. 3. Сравнение орбитальных параметров ШС (apo , $peri$, ecc , L_z , l_z/ecc , E , V_{tot} , θ , T_r), полученных с использованием каталога Васильева (2019) [3] со средними собственными движениями из Gaia DR2 (горизонтальная ось) и каталога Васильева и Баумгардта (2021) [8] со средними собственными движениями из Gaia EDR3 (вертикальная ось). На каждой панели нанесена диагональная линия совпадения.

обозначениями, принятыми в работе [5]: D – диск, B – балдж, GE – галактика Sausage, или, Gaia–Enceladus, H99 – поток Хелми, Seq – галактика Sequoia, Sgr – карликовая галактика Sagittarius, HE (unassociated high energy group) – несвязанная высокоэнергетическая группа, LE (unassociated low energy group) – несвязанная низкоэнергетическая группа. Разделение ШС по подсистемам балджа (B), толстого диска (D) и гало было произведено в соответствии с алгоритмом, предложенным нами в работе [4]. Классификация ШС по подсистемам гало (Seq, Sgr, GE, H99, HE, LE) была предложена в работе Массари и др. [5]. В работе [7] классификация Массари и др. была нами модифицирована в соответствии с

орбитальными особенностями ШС. Тогда изменению подверглись 27 объектов. Анализ новых орбитальных параметров оставил эту классификацию в силе.

Сравнение орбитальных параметров ШС, вычисленных с использованием средних собственных движений Gaia EDR3, с аналогичными параметрами [7], вычисленными по данным каталога Gaia DR2, показано на рис. 3. Как видно из рисунков, для ряда ШС наблюдается существенное различие. Нам удалось выявить 22 наиболее ярких представителя.

Как показал анализ, наибольшее изменение орбитальных параметров претерпели очень дале-

Таблица 1. Орбитальные свойства ШС

Имя	d_{GC} , кпк	Π , км/с	Θ , км/с	V_{tot} , км/с	a_{ro} , кпк	$peri$, кпк	ecc	θ , град	T_r , млн. лет	L_z , (кпк км)/с	E , км ² /с ²	Тип
NGC 104	7.6	6	191	197	7.7	5.52	0.16	28	116	1325	-126360	D
		+6 -5	+4 -4	+4 -4	+0.1 -0.1	+0.22 -0.19	+0.02 -0.01	+1 -1	+3 -3	+34 -36	+1237 -1071	
NGC 288	12.2	4	-42	66	12.4	1.33	0.81	121	142	-349	-116316	GE
		+1 -2	+17 -13	+9 -10	+0.3 -0.4	+0.45 -0.53	+0.07 -0.06	+4 -8	+5 -5	+142 -105	+1654 -1780	
NGC 362	9.5	126	-2	144	11.7	0.08	0.99	93	126	-12	-121469	GE*
		+5 -9	+7 -11	+5 -8	+0.5 -0.2	+0.22 -0.00	+0.00 -0.04	+18 -10	+5 -3	+48 -79	+1964 -1664	
Whiting 1	34.7	-232	85	247	75.4	21.56	0.56	74	1328	1927	-39308	Sgr*
		+11 -16	+13 -15	+16 -10	+17.0 -9.0	+1.86 -1.78	+0.05 -0.03	+3 -2	+339 -177	+305 -362	+4454 -3011	
NGC 1261	18.2	-98	-21	121	21.2	0.81	0.93	120	246	-273	-91128	GE
		+5 -8	+7 -6	+7 -5	+0.8 -0.6	+0.35 -0.14	+0.01 -0.03	+7 -11	+10 -9	+95 -82	+1908 -1335	
Pal 1	17.4	43	215	221	19.2	14.83	0.13	15	356	3677	-77542	D
		+5 -6	+2 -2	+2 -2	+0.5 -0.6	+0.47 -0.44	+0.02 -0.02	+1 -0	+10 -10	+69 -82	+946 -1095	
E 1	124.7	-16	-8	63	134.5	8.03	0.89	101	2280	-706	-28995	HE*
		+58 -36	+52 -56	+78 -0	+64.9 -24.9	+63.43 -0.00	+0.00 -0.49	+22 -32	+1993 -150	+4263 -4646	+8306 -453	
Eridanus	95.2	-74	10	166	176.7	16.77	0.83	84	3348	753	-23513	HE*
		+18 -14	+18 -12	+12 -19	+20.3 -27.8	+5.66 -4.38	+0.03 -0.06	+7 -13	+524 -641	+1356 -874	+1835 -2954	
Pal 2	35.3	-107	13	108	40.9	0.84	0.96	24	506	467	-63898	GE
		+3 -4	+9 -13	+4 -2	+1.7 -1.8	+0.54 -0.46	+0.02 -0.03	+66 -21	+26 -24	+320 -446	+1598 -1704	
NGC 1851	16.9	104	-5	132	20.1	0.14	0.99	98	228	-76	-94253	GE*
		+2 -3	+4 -4	+4 -3	+0.4 -0.4	+0.23 -0.00	+0.00 -0.03	+7 -7	+7 -4	+66 -60	+1069 -1078	
NGC 1904	19.0	45	11	47	19.7	0.35	0.97	62	218	192	-96229	GE*
		+4 -4	+5 -6	+4 -3	+0.2 -0.6	+0.25 -0.12	+0.01 -0.03	+16 -14	+8 -10	+98 -115	+1108 -974	
NGC 2298	16.0	-92	-31	124	18.0	1.25	0.87	117	208	-494	-98729	GE
		+7 -6	+6 -6	+7 -6	+0.4 -0.4	+0.34 -0.15	+0.01 -0.03	+5 -5	+6 -6	+94 -95	+1300 -1171	
NGC 2419	90.2	-7	59	80	91.9	19.60	0.65	44	1600	4937	-35478	Sgr*
		+6 -5	+13 -13	+14 -10	+3.5 -3.2	+9.62 -5.54	+0.07 -0.12	+8 -6	+219 -815	+1125 -1132	+1537 -1190	
Pyxis	41.5	-246	-34	301	252.7	41.69	0.72	100	5084	-1382	-18116	HE*
		+4 -4	+11 -10	+4 -6	+59.9 -43.8	+1.53 -20.48	+0.12 -0.00	+3 -3	+1247 -1393	+479 -458	+2139 -1970	
NGC 2808	11.3	-157	41	165	14.4	1.01	0.87	10	158	460	-111826	GE
		+2 -1	+4 -4	+1 -1	+0.5 -0.5	+0.09 -0.07	+0.01 -0.02	+2 -1	+6 -6	+34 -30	+1885 -1764	
E 3	9.3	44	252	275	13.1	9.18	0.18	29	224	2244	-97762	D
		+12 -11	+8 -9	+9 -9	+1.3 -1.1	+0.30 -0.31	+0.04 -0.04	+ -1	+14 -12	+107 -112	+3113 -2858	
Pal 3	95.9	-146	58	169	144.0	66.53	0.37	73	3602	4236	-22836	HE*
		+15 -20	+27 -30	+22 -16	+59.4 -22.6	+14.11 -15.05	+0.12 -0.03	+8 -7	+1259 -681	+2029 -2215	+4004 -2698	
NGC 3201	9.1	-114	-301	356	26.4	8.39	0.52	152	376	-2727	-75366	Seq
		+8 -10	+6 -5	+7 -6	+2.0 -1.8	+0.17 -0.23	+0.02 -0.03	+1 -1	+25 -26	+83 -70	+2504 -2517	

Таблица 1. Продолжение

Имя	d_{GC} , кпк	Π , км/с	Θ , км/с	V_{tot} , км/с	apo , кпк	$peri$, кпк	ecc	θ , град	T_r , млн. лет	L_Z , (кпк км)/с	E , км ² /с ²	Тип
Pal 4	111.4	2	-15	49	116.4	4.61	0.92	105	1870	-615	-32274	HE*
		+19 -21	+27 -19	+17 -3	+0.0 -9.4	+9.33 -2.03	+0.03 -0.14	+4 -24	+0 -620	+1107 -807	+1573 -650	
Crater	144.8	-89	-25	107	147.7	71.90	0.35	99	3806	-2469	-22149	HE*
		+76 -54	+64 -117	+101 -15	+426.9 -71.0	+84.04 -9.28	+0.33 -0.11	+28 -19	+1823 -3363	+6352 -11393	+17069 -2215	
NGC 4147	21.5	47	-0	136	26.4	0.39	0.97	91	314	-4	-81056	GE*
		+6 -5	+12 -13	+4 -3	+1.1 -1.1	+0.55 -0.00	+0.00 -0.04	+15 -12	+15 -14	+125 -130	+1755 -1876	
NGC 4372	7.3	17	133	149	7.3	3.00	0.42	28	98	965	-139619	D
		+7 -8	+7 -7	+7 -7	+0.3 -0.1	+0.24 -0.24	+0.03 -0.03	+1 -2	+3 -3	+61 -54	+2139 -1768	
Rup 106	18.5	-243	91	261	38.0	4.65	0.78	46	498	1627	-64947	H99
		+3 -5	+8 -10	+5 -3	+2.2 -2.1	+0.51 -0.36	+0.02 -0.02	+4 -3	+34 -32	+167 -203	+2121 -2229	
NGC 4590	10.3	-169	294	339	30.0	8.89	0.54	41	430	2454	-70313	H99
		+9 -10	+8 -10	+4 -5	+1.7 -1.5	+0.29 -0.28	+0.02 -0.01	+2 -1	+28 -22	+95 -99	+2039 -1905	
NGC 4833	7.2	105	40	120	8.1	0.74	0.83	37	86	288	-144343	GE
		+8 -10	+9 -11	+9 -11	+0.3 -0.3	+0.14 -0.20	+0.04 -0.02	+10 -6	+3 -4	+65 -83	+2052 -2144	
NGC 5024	18.5	-95	143	186	22.4	9.11	0.42	74	336	810	-79888	H99
		+5 -4	+4 -6	+4 -6	+0.9 -1.0	+0.51 -0.61	+0.02 -0.01	+1 -1	+16 -19	+29 -39	+1805 -2220	
NGC 5053	17.9	-91	137	168	18.0	10.87	0.25	76	304	747	-84546	H99
		+4 -3	+6 -6	+5 -6	+0.9 -0.7	+0.97 -0.63	+0.02 -0.04	+1 -1	+18 -15	+43 -39	+2416 -2020	
NGC 5139	6.6	-70	-72	128	7.4	1.13	0.74	137	80	-463	-147822	Seq
		+4 -4	+4 -5	+6 -4	+0.0 -0.3	+0.16 -0.07	+0.01 -0.04	+3 -4	+4 -1	+31 -34	+1693 -1521	
NGC 5272	12.2	-39	142	199	15.9	5.14	0.51	57	210	987	-98373	H99
		+4 -4	+6 -5	+4 -4	+0.7 -0.6	+0.48 -0.21	+0.01 -0.03	+1 -1	+13 -7	+44 -39	+2147 -2008	
NGC 5286	8.9	-219	-43	223	13.7	0.80	0.89	124	152	-372	-113576	H99
		+2 -2	+8 -8	+1 -1	+0.6 -0.7	+0.20 -0.12	+0.01 -0.03	+4 -5	+8 -7	+69 -68	+2188 -2745	
NGC 5466	16.4	169	-137	313	51.3	5.76	0.80	108	712	-795	-54156	GE
		+13 -17	+15 -16	+8 -10	+5.3 -5.3	+0.66 -0.62	+0.01 -0.02	+2 -1	+87 -89	+91 -96	+3099 -3610	
NGC 5634	21.1	-47	34	63	21.6	2.05	0.83	72	256	303	-89241	GE
		+6 -8	+10 -12	+5 -2	+0.9 -1.0	+0.36 -0.23	+0.01 -0.03	+6 -4	+14 -11	+88 -104	+2025 -2042	
NGC 5694	29.3	-182	-45	254	71.5	2.81	0.92	133	1012	-1058	-44810	GE
		+6 -5	+11 -11	+7 -7	+5.4 -4.8	+11.27 -2.36	+0.08 -0.20	+4 -7	+28 -91	+279 -296	+2109 -2055	
IC 4499	15.6	-243	-73	261	29.7	6.38	0.65	113	402	-1042	-72691	Seq
		+3 -2	+8 -8	+2 -2	+1.6 -1.8	+0.52 -0.20	+0.01 -0.03	+2 -2	+23 -25	+118 -116	+1994 -2350	
NGC 5824	25.7	-41	109	216	37.6	14.26	0.45	58	602	2464	-59518	H99
		+9 -11	+12 -12	+10 -8	+3.2 -2.2	+1.76 -1.73	+0.05 -0.04	+3 -2	+63 -46	+297 -298	+2892 -2423	
Pal 5	18.4	-53	161	170	18.9	10.77	0.27	66	310	1262	-83186	H99
		+1 -3	+22 -19	+22 -17	+1.1 -0.6	+2.65 -1.74	+0.08 -0.09	+3 -3	+42 -26	+230 -175	+4776 -2994	

Таблица 1. Продолжение

Имя	d_{GC} , кпк	Π , км/с	Θ , км/с	V_{tot} , км/с	apo , кпк	$peri$, кпк	ecc	θ , град	T_r , млн. лет	L_Z , (кпк км)/с	E , км ² /с ²	Тип
NGC 5897	7.3	86	96	158	8.7	1.89	0.64	61	106	359	-131 869	GE
		+18 -15	+15 -16	+14 -12	+0.5 -0.3	+0.43 -0.35	+0.06 -0.05	+4 -3	+7 -5	+83 -78	+3454 -2289	
NGC 5904	6.3	-291	126	365	23.4	2.27	0.82	72	288	401	-85416	GE
		+14 -10	+10 -8	+11 -13	+2.5 -2.6	+0.40 -0.08	+0.01 -0.03	+2 -2	+33 -34	+32 -41	+4305 -4892	
NGC 5927	4.7	-39	233	236	5.2	4.17	0.11	9	82	1077	-148 646	D
		+15 -15	+5 -8	+6 -8	+0.3 -0.3	+0.28 -0.29	+0.05 -0.03	+1 -1	+5 -4	+62 -61	+3031 -2848	
NGC 5946	5.8	36	25	115	5.9	0.35	0.89	76	66	145	-158 142	LE*
		+13 -9	+8 -7	+8 -4	+0.3 -0.2	+0.19 -0.05	+0.01 -0.05	+4 -4	+3 -4	+49 -42	+2872 -2154	
ESO 224-8	12.6	-44	257	261	16.8	11.84	0.17	7	290	3226	-85 573	D
		+22 -22	+17 -19	+17 -17	+3.0 -2.4	+0.60 -1.30	+0.08 -0.04	+1 -0	+40 -40	+238 -333	+5016 -6103	
NGC 5986	4.7	61	23	66	5.5	0.16	0.94	65	56	94	-168 587	LE
		+15 -12	+7 -9	+14 -10	+0.1 -0.6	+0.11 -0.05	+0.02 -0.04	+10 -6	+2 -4	+30 -39	+2093 -2777	
FSR 1716	4.8	87	228	286	7.2	3.96	0.29	33	108	1089	-135 629	D
		+22 -28	+9 -14	+7 -12	+0.5 -0.7	+0.37 -0.38	+0.06 -0.07	+2 -2	+6 -6	+62 -83	+3132 -4361	
Pal 14	71.4	123	-6	177	134.2	0.73	0.99	134	2200	-273	-29 451	GE*
		+11 -11	+18 -6	+11 -12	+9.8 -12.9	+2.00 -0.02	+0.00 -0.03	+0 -84	+218 -263	+907 -282	+1412 -2059	
BH 184	4.4	41	121	156	4.7	1.69	0.47	36	58	532	-168 541	D
		+14 -17	+7 -8	+7 -7	+0.2 -0.2	+0.15 -0.15	+0.04 -0.03	+2 -2	+3 -2	+39 -37	+2788 -2317	
NGC 6093	3.7	33	16	71	4.8	0.06	0.98	83	44	25	-176 940	LE
		+8 -9	+13 -11	+8 -5	+0.0 -0.7	+0.38 -0.00	+0.00 -0.17	+4 -6	+3 -2	+29 -17	+2815 -1576	
NGC 6121	6.3	-52	9	54	6.5	0.12	0.96	21	68	58	-159 029	LE
		+2 -2	+11 -11	+4 -2	+0.1 -0.1	+0.10 -0.03	+0.01 -0.03	+76 -31	+2 -1	+69 -70	+1144 -910	
NGC 6101	11.1	-12	-312	369	43.7	10.85	0.60	143	652	-3217	-57 030	Seq
		+18 -18	+3 -2	+3 -4	+3.7 -3.6	+0.51 -0.51	+0.02 -0.01	+1 -1	+61 -60	+163 -152	+2609 -2832	
NGC 6144	2.7	-70	-197	213	3.3	2.13	0.21	114	40	-240	-172 490	Seq
		+56 -54	+34 -14	+2 -4	+0.2 -0.1	+0.11 -0.20	+0.06 -0.02	+4 -4	+11 -10	+38 -37	+2589 -1903	
NGC 6139	3.5	-1	74	151	3.6	1.01	0.56	61	50	244	-177 317	LE
		+11 -19	+6 -7	+7 -6	+0.3 -0.1	+0.20 -0.08	+0.03 -0.05	+3 -3	+3 -2	+31 -25	+4002 -1972	
Terzan 3	2.5	-60	205	234	3.2	2.20	0.18	42	44	439	-175 727	D
		+38 -36	+8 -16	+6 -7	+0.3 -0.1	+0.22 -0.29	+0.08 -0.05	+4 -4	+5 -3	+48 -49	+3297 -2401	
NGC 6171	3.5	-4	77	101	3.8	0.61	0.72	52	44	189	-179 010	B
		+3 -2	+10 -8	+8 -7	+0.2 -0.2	+0.18 -0.14	+0.06 -0.07	+2 -2	+3 -2	+32 -27	+2606 -2445	
ESO 452-11	2.1	-26	-14	112	2.9	0.06	0.96	101	26	-17	-202 137	B
		+13 -6	+6 -9	+3 -8	+0.1 -0.2	+0.01 -0.03	+0.02 -0.00	+5 -6	+2 -1	+7 -11	+2802 -2352	
NGC 6205	8.6	21	-26	87	8.6	1.01	0.79	105	100	-185	-134 382	GE
		+3 -4	+4 -4	+3 -3	+0.2 -0.2	+0.11 -0.07	+0.01 -0.02	+3 -2	+4 -1	+29 -30	+1377 -1006	

Таблица 1. Продолжение

Имя	d_{GC} , кпк	Π , км/с	Θ , км/с	V_{tot} , км/с	apo , кпк	$peri$, кпк	ecc	θ , град	T_r , млн. лет	L_Z , (кпк) км/с	E , км ² /с ²	Тип
NGC 6229	29.9	30	10	58	31.0	0.64	0.96	66	374	231	-74 500	GE*
		+6 -8	+2 -3	+7 -7	+1.0 -0.8	+0.29 -0.20	+0.01 -0.02	+8 -6	+14 -10	+49 -73	+1263 -1091	
NGC 6218	4.8	-9	134	157	5.0	2.25	0.38	37	64	578	-158 304	D
		+5 -4	+5 -6	+4 -5	+0.2 -0.2	+0.13 -0.16	+0.02 -0.03	+1 -1	+4 -1	+30 -38	+1652 -2303	
FSR 1735	4.3	-80	20	174	4.8	0.43	0.84	82	58	83	-167 696	LE*
		+10 -12	+13 -8	+10 -5	+0.4 -0.2	+0.19 -0.19	+0.07 -0.07	+3 -5	+3 -5	+53 -35	+3898 -4200	
NGC 6235	4.0	159	194	254	6.1	2.70	0.39	53	82	561	-145 991	D
		+4 -3	+17 -21	+15 -16	+0.7 -0.8	+0.32 -0.40	+0.02 -0.02	+6 -4	+11 -10	+110 -141	+5819 -7193	
NGC 6254	4.8	-88	134	167	5.2	2.13	0.42	36	78	604	-157 521	D
		+3 -3	+6 -8	+4 -5	+0.2 -0.2	+0.13 -0.16	+0.03 -0.03	+2 -1	+1 -3	+26 -41	+1403 -2009	
NGC 6256	2.9	-166	34	194	4.2	0.19	0.91	76	44	94	-182 703	LE
		+9 -8	+23 -24	+6 -4	+0.6 -0.4	+0.14 -0.13	+0.07 -0.07	+10 -9	+5 -2	+56 -64	+6324 -3401	
Pal 15	38.2	155	4	162	54.5	1.32	0.95	85	726	119	-53 297	GE*
		+8 -8	+12 -9	+8 -7	+4.5 -2.9	+1.37 -0.21	+0.01 -0.04	+15 -18	+72 -45	+414 -329	+2569 -1733	
NGC 6266	2.0	41	123	146	2.5	0.60	0.61	32	34	217	-205 550	B
		+9 -14	+9 -9	+6 -6	+0.2 -0.4	+0.12 -0.11	+0.03 -0.06	+4 -2	+3 -5	+28 -37	+4879 -6500	
NGC 6273	1.6	-98	-239	315	3.8	1.00	0.59	109	48	-144	-173 042	LE
		+88 -97	+108 -41	+5 -5	+0.5 -0.2	+0.21 -0.08	+0.02 -0.04	+11 -10	+6 -2	+77 -96	+5314 -2523	
NGC 6284	7.3	14	-3	113	7.5	0.72	0.82	91	90	-19	-142 286	GE
		+2 -2	+13 -14	+6 -6	+0.7 -0.6	+0.16 -0.23	+0.05 -0.02	+8 -7	+8 -6	+93 -94	+5199 -5012	
NGC 6287	2.0	-302	-64	319	5.3	0.76	0.75	95	64	-59	-158 899	LE
		+96 -72	+13 -18	+3 -3	+0.5 -0.3	+0.10 -0.06	+0.02 -0.03	+2 -2	+7 -3	+26 -28	+4804 -2838	
NGC 6293	1.8	-152	-80	232	3.6	0.17	0.91	131	38	-93	-191 506	B
		+7 -7	+12 -17	+9 -4	+0.5 -0.3	+0.13 -0.04	+0.02 -0.05	+7 -11	+5 -3	+29 -55	+7479 -3379	
NGC 6304	2.5	79	190	218	3.3	1.79	0.29	20	52	472	-183 230	D
		+5 -6	+5 -6	+4 -5	+0.3 -0.3	+0.20 -0.22	+0.02 -0.01	+1 -1	+4 -4	+56 -55	+5448 -5796	
NGC 6316	2.4	102	51	144	3.0	0.40	0.76	41	36	106	-197 198	B
		+5 -4	+13 -18	+8 -7	+0.4 -0.4	+0.14 -0.23	+0.13 -0.04	+8 -4	+5 -6	+45 -50	+7404 -9153	
NGC 6341	9.8	50	14	108	10.6	0.44	0.92	78	124	121	-125 452	GE
		+4 -4	+4 -5	+8 -7	+0.2 -0.3	+0.16 -0.09	+0.02 -0.03	+4 -4	+3 -4	+35 -39	+1383 -1633	
NGC 6325	1.3	-80	-178	209	1.3	1.06	0.11	114	18	-105	-213 001	B
		+31 -50	+131 -59	+23 -23	+0.5 -0.1	+0.13 -0.31	+0.22 -0.00	+14 -17	+11 -3	+78 -86	+9843 -4890	
NGC 6333	1.8	-88	347	364	6.5	0.97	0.74	59	74	327	-151 332	LE
		+146 -95	+8 -42	+3 -4	+0.5 -0.3	+0.16 -0.14	+0.03 -0.03	+4 -4	+6 -2	+56 -56	+3881 -2911	
NGC 6342	1.6	-25	164	169	1.7	0.89	0.31	64	24	117	-206 944	B
		+75 -65	+8 -42	+4 -3	+0.2 -0.1	+0.14 -0.17	+0.13 -0.08	+3 -3	+7 -2	+19 -17	+3950 -1304	

Таблица 1. Продолжение

Имя	d_{GC} , кпк	Π , км/с	Θ , км/с	V_{tot} , км/с	apo , кпк	$peri$, кпк	ecc	θ , град	T_r , млн. лет	L_z , (кпк км)/с	E , км ² /с ²	Тип
NGC 6356	7.2	48	105	156	7.9	2.37	0.54	42	102	701	-136904	D
		+6 -5	+16 -19	+11 -9	+0.7 -0.5	+0.57 -0.53	+0.08 -0.07	+5 -3	+11 -6	+136 -140	+5232 -4155	
NGC 6355	1.2	-207	-106	274	2.2	0.64	0.55	106	28	-91	-199376	B
		+7 -9	+51 -28	+5 -6	+0.8 -0.5	+0.09 -0.11	+0.12 -0.09	+6 -7	+10 -5	+48 -56	+11298 -9929	
NGC 6352	3.6	43	226	230	4.1	3.17	0.13	12	68	792	-163943	D
		+11 -10	+5 -7	+4 -5	+0.3 -0.3	+0.14 -0.16	+0.03 -0.03	+1 -1	+4 -5	+50 -48	+3332 -3174	
IC 1257	17.6	-48	-37	63	18.1	1.24	0.87	158	206	-600	-99053	GE
		+6 -6	+9 -10	+6 -3	+1.0 -0.8	+0.45 -0.32	+0.03 -0.04	+2 -4	+11 -10	+141 -162	+2458 -2292	
Terzan 2	1.0	-120	-47	137	1.2	0.09	0.86	160	14	-44	-242209	B
		+30 -17	+22 -32	+3 -2	+0.4 -0.3	+0.04 -0.02	+0.07 -0.13	+4 -18	+5 -4	+13 -13	+13782 -14365	
NGC 6366	5.3	94	134	175	5.8	2.20	0.45	32	74	697	-153394	D
		+3 -2	+3 -4	+3 -3	+0.2 -0.2	+0.09 -0.11	+0.02 -0.01	+1 -1	+3 -1	+28 -31	+1599 -1663	
Terzan 4	1.2	20	67	118	1.3	0.20	0.73	54	14	82	-235193	B
		+9 -16	+11 -9	+7 -6	+0.4 -0.3	+0.06 -0.03	+0.04 -0.09	+4 -4	+4 -4	+23 -21	+11974 -15449	
BH 229	0.5	5	-54	293	0.8	0.28	0.49	100	10	-21	-249619	B
		+31 -32	+25 -5	+12 -14	+0.7 -0.1	+0.12 -0.10	+0.23 -0.09	+1 -5	+6 -1	+8 -10	+22805 -1714	
FSR 1758	3.7	63	-341	401	13.8	3.66	0.58	147	174	-1254	-108059	Seq
		+26 -27	+6 -4	+6 -5	+1.9 -1.4	+0.40 -0.33	+0.02 -0.01	+1 -1	+24 -18	+116 -131	+6250 -5485	
NGC 6362	5.2	18	124	160	5.3	2.46	0.37	45	70	583	-153483	D
		+14 -16	+9 -7	+7 -5	+0.2 -0.1	+0.23 -0.17	+0.03 -0.03	+2 -3	+5 -1	+52 -35	+2703 -1632	
Liller 1	0.8	97	-55	115	0.8	0.09	0.81	155	8	-41	-262426	B
		+20 -26	+72 -17	+11 -16	+0.2 -0.0	+0.06 -0.07	+0.14 -0.07	+8 -89	+4 -0	+61 -23	+12174 -2514	
NGC 6380	3.1	-59	-29	67	3.4	0.16	0.91	168	38	-89	-195003	B
		+7 -8	+11 -10	+10 -8	+0.4 -0.4	+0.21 -0.03	+0.01 -0.09	+4 -8	+6 -3	+39 -47	+7157 -5562	
Terzan 1	1.6	-74	65	99	1.8	0.21	0.78	5	22	106	-224589	B
		+2 -4	+9 -10	+8 -6	+0.3 -0.3	+0.07 -0.05	+0.03 -0.04	+3 -1	+4 -5	+26 -28	+6942 -9700	
Pismis 26	1.4	-105	204	302	3.0	0.92	0.54	41	42	271	-188443	LE
		+63 -46	+25 -37	+7 -7	+0.5 -0.2	+0.43 -0.28	+0.14 -0.16	+4 -2	+11 -2	+62 -50	+5667 -2060	
NGC 6388	3.0	-65	-93	115	3.5	0.62	0.70	148	44	-255	-190244	Seq
		+12 -17	+14 -10	+7 -5	+0.2 -0.3	+0.22 -0.11	+0.03 -0.08	+5 -7	+4 -2	+49 -45	+3550 -2702	
NGC 6402	4.0	-20	49	56	4.8	0.29	0.88	46	52	159	-176490	LE
		+15 -16	+5 -7	+8 -5	+0.1 -0.4	+0.12 -0.02	+0.01 -0.04	+7 -5	+3 -3	+19 -25	+2654 -1937	
NGC 6401	2.5	-30	-255	301	4.5	2.37	0.31	144	62	-598	-162266	Seq
		+22 -16	+3 -3	+5 -4	+0.6 -0.6	+0.46 -0.45	+0.04 -0.03	+1 -1	+12 -9	+116 -116	+8004 -8586	
NGC 6397	6.3	36	127	178	6.5	2.76	0.41	43	84	793	-144589	D
		+4 -5	+7 -7	+6 -6	+0.1 -0.1	+0.20 -0.20	+0.03 -0.03	+2 -2	+4 -1	+41 -42	+1350 -1516	

Таблица 1. Продолжение

Имя	d_{GC} , кпк	П, км/с	Θ, км/с	V_{tot} , км/с	apo , кпк	$peri$, кпк	ecc	θ, град	T_r , млн. лет	L_Z , (кпк км)/с	E , км ² /с ²	Тип
Pal 6	2.5	-191	22	245	4.5	0.13	0.95	83	44	55	-179517	LE
		+1 -3	+8 -11	+4 -4	+0.4 -0.6	+0.02 -0.06	+0.02 -0.02	+4 -3	+4 -4	+20 -29	+4283 -7078	
NGC 6426	14.3	-111	92	147	16.6	3.17	0.68	26	200	1204	-100803	H99
		+13 -12	+13 -13	+14 -14	+0.9 -0.8	+0.67 -0.55	+0.04 -0.05	+3 -3	+17 -12	+204 -193	+3272 -2975	
Djorg 1	1.2	-255	311	402	5.9	0.77	0.77	24	66	346	-162360	GE
		+161 -65	+59 -34	+9 -7	+1.4 -1.7	+0.15 -0.07	+0.01 -0.07	+7 -4	+15 -16	+67 -80	+11951 -17508	
Terzan 5	1.5	76	50	96	1.7	0.14	0.84	40	18	75	-228141	B
		+5 -5	+8 -11	+6 -7	+0.4 -0.3	+0.07 -0.03	+0.02 -0.04	+9 -6	+6 -4	+27 -26	+9677 -9909	
NGC 6440	1.3	82	-41	100	1.4	0.16	0.80	116	14	-46	-232585	B
		+10 -21	+30 -29	+8 -7	+0.3 -0.0	+0.07 -0.09	+0.10 -0.06	+18 -20	+4 -0	+38 -44	+6898 -857	
NGC 6441	3.6	16	67	72	3.6	0.75	0.66	22	42	230	-186246	LE
		+9 -8	+14 -15	+15 -14	+0.6 -0.4	+0.21 -0.21	+0.07 -0.06	+5 -3	+7 -4	+69 -63	+7841 -6993	
Terzan 6	1.5	-137	-51	147	1.9	0.15	0.85	170	22	-77	-221047	B
		+3 -3	+14 -16	+5 -3	+0.4 -0.4	+0.07 -0.04	+0.03 -0.05	+3 -7	+7 -4	+26 -28	+10098 -11486	
NGC 6453	3.4	-105	39	197	3.9	0.99	0.59	78	54	132	-172359	LE
		+6 -5	+13 -14	+8 -8	+0.5 -0.7	+0.19 -0.14	+0.05 -0.07	+4 -4	+6 -8	+37 -51	+6446 -9017	
NGC 6496	4.0	-35	322	330	9.2	3.73	0.42	32	120	1118	-125956	D
		+32 -34	+16 -26	+16 -22	+1.5 -1.4	+0.38 -0.35	+0.05 -0.06	+2 -2	+18 -16	+129 -144	+7076 -7948	
Terzan 9	1.3	-53	15	82	1.4	0.05	0.93	78	16	19	-235578	B
		+9 -6	+15 -9	+4 -3	+0.3 -0.4	+0.04 -0.02	+0.03 -0.08	+7 -11	+3 -5	+14 -11	+9150 -16419	
Djorg 2	2.0	162	159	232	3.2	0.91	0.56	12	42	323	-191864	B
		+5 -3	+3 -6	+2 -3	+0.3 -0.4	+0.14 -0.18	+0.03 -0.02	+1 -1	+5 -4	+43 -58	+4864 -7214	
NGC 6517	4.0	47	42	73	4.5	0.31	0.87	52	50	161	-179254	LE
		+8 -13	+9 -6	+5 -4	+0.1 -0.3	+0.14 -0.04	+0.02 -0.06	+5 -7	+3 -2	+32 -25	+2478 -3018	
Terzan 10	2.2	229	92	338	5.8	0.68	0.79	71	74	204	-157214	GE
		+8 -13	+27 -17	+8 -9	+0.8 -1.0	+0.14 -0.12	+0.02 -0.04	+3 -5	+10 -11	+24 -25	+7702 -10685	
NGC 6522	0.8	34	91	211	1.2	0.23	0.67	63	16	58	-238928	B
		+21 -13	+25 -42	+13 -9	+0.4 -0.2	+0.18 -0.13	+0.13 -0.10	+12 -7	+9 -5	+41 -27	+19266 -11639	
NGC 6535	4.0	92	-83	131	4.6	1.00	0.64	160	56	-320	-173165	Seq
		+7 -8	+8 -7	+3 -3	+0.2 -0.2	+0.09 -0.09	+0.04 -0.02	+1 -1	+2 -2	+26 -28	+2543 -1988	
NGC 6528	0.7	-196	111	229	1.1	0.25	0.61	71	14	50	-241754	B
		+177 -58	+64 -31	+2 -2	+0.5 -0.5	+0.18 -0.06	+0.14 -0.39	+4 -3	+5 -4	+12 -15	+12950 -12284	
NGC 6539	3.1	-2	118	208	3.4	1.86	0.29	56	56	347	-174408	D
		+15 -18	+5 -7	+9 -6	+0.2 -0.1	+0.23 -0.19	+0.04 -0.04	+2 -2	+6 -8	+26 -28	+3585 -2680	
NGC 6540	3.0	13	148	159	3.1	1.60	0.32	21	48	450	-187451	D
		+2 -2	+5 -6	+5 -6	+0.2 -0.3	+0.12 -0.18	+0.03 -0.03	+1 -1	+2 -4	+33 -49	+3306 -5125	

Таблица 1. Продолжение

Имя	d_{GC} , кпк	Π , км/с	Θ , км/с	V_{tot} , км/с	apo , кпк	$peri$, кпк	ecc	θ , град	T_r , млн. лет	L_z , (кпк км)/с	E , км ² /с ²	Тип
NGC 6544	5.3	6	6	91	5.7	0.06	0.98	86	52	30	-166552	GE
		+2 -2	+12 -7	+6 -4	+0.1 -0.3	+0.15 -0.03	+0.01 -0.05	+4 -8	+4 -1	+67 -37	+1500 -1861	
NGC 6541	2.3	124	192	253	3.8	1.25	0.50	40	50	333	-175234	LE
		+23 -43	+22 -16	+6 -4	+0.4 -0.4	+0.17 -0.10	+0.06 -0.08	+4 -3	+4 -4	+22 -20	+3383 -3409	
ESO 280-06	13.8	34	27	86	14.2	1.00	0.87	67	164	346	-110196	GE*
		+7 -6	+16 -13	+10 -6	+0.9 -0.9	+0.56 -0.36	+0.04 -0.06	+11 -12	+12 -11	+216 -178	+3465 -3298	
NGC 6553	2.4	46	246	250	3.3	2.27	0.19	7	52	589	-179761	D
		+8 -6	+1 -2	+1 -1	+0.2 -0.3	+0.27 -0.33	+0.03 -0.02	+1 -1	+5 -3	+67 -80	+4706 -6218	
NGC 6558	1.2	187	93	210	1.7	0.28	0.72	63	20	88	-217022	B
		+2 -1	+9 -9	+5 -4	+0.6 -0.4	+0.12 -0.06	+0.10 -0.14	+8 -9	+6 -4	+39 -30	+10492 -9416	
Pal 7	3.9	-77	267	279	6.0	3.52	0.26	11	86	1034	-147446	D
		+15 -9	+7 -6	+5 -5	+0.3 -0.4	+0.11 -0.17	+0.02 -0.02	+1 -0	+4 -4	+40 -59	+2348 -3470	
Terzan 12	3.6	-97	165	213	4.4	2.09	0.35	29	60	599	-169045	D
		+3 -3	+6 -7	+4 -5	+0.3 -0.3	+0.11 -0.14	+0.03 -0.01	+1 -2	+4 -2	+40 -38	+3407 -3215	
NGC 6569	2.8	-40	179	185	3.0	1.92	0.22	26	56	451	-181599	D*
		+2 -2	+24 -19	+23 -18	+0.6 -0.4	+0.52 -0.44	+0.09 -0.06	+6 -5	+10 -8	+133 -101	+9717 -7717	
ESO 456-78	2.0	71	198	251	2.9	1.43	0.34	34	52	371	-186882	D
		+9 -7	+3 -5	+5 -6	+0.3 -0.3	+0.31 -0.30	+0.06 -0.05	+1 -2	+5 -8	+69 -63	+6566 -7183	
NGC 6584	6.8	198	100	324	18.0	1.68	0.83	51	212	565	-98062	GE
		+16 -17	+19 -26	+13 -15	+2.1 -2.1	+0.51 -0.56	+0.05 -0.04	+6 -4	+27 -27	+141 -175	+5083 -6165	
NGC 6624	1.2	-29	59	137	1.6	0.13	0.85	73	22	36	-226289	B
		+44 -20	+8 -15	+7 -4	+0.2 -0.2	+0.14 -0.06	+0.06 -0.12	+2 -4	+2 -5	+17 -13	+7818 -3866	
NGC 6626	3.0	-27	57	113	3.1	0.45	0.75	60	42	169	-193005	B
		+3 -3	+9 -9	+6 -6	+0.3 -0.2	+0.09 -0.12	+0.07 -0.05	+4 -4	+4 -5	+30 -29	+4073 -3459	
NGC 6638	2.0	68	14	74	2.4	0.05	0.96	80	20	22	-212090	B
		+4 -8	+10 -17	+4 -6	+0.4 -0.2	+0.05 -0.02	+0.02 -0.05	+13 -7	+6 -0	+13 -27	+7283 -2914	
NGC 6637	1.6	35	90	126	2.3	0.09	0.93	77	22	40	-212857	B
		+40 -83	+4 -42	+7 -4	+0.2 -0.3	+0.17 -0.06	+0.05 -0.15	+6 -6	+2 -1	+30 -20	+4822 -1774	
NGC 6642	1.7	112	25	126	2.2	0.08	0.93	46	24	36	-215381	B
		+5 -13	+22 -38	+5 -8	+0.2 -0.1	+0.07 -0.04	+0.03 -0.05	+65 -19	+3 -2	+40 -54	+3709 -1783	
NGC 6652	2.5	-55	30	184	4.2	0.08	0.96	75	38	46	-183873	B
		+4 -1	+11 -16	+7 -6	+0.3 -0.2	+0.16 -0.07	+0.03 -0.06	+8 -3	+6 -2	+35 -28	+6685 -2374	
NGC 6656	5.2	176	200	302	9.8	3.05	0.53	33	126	1041	-125541	D
		+2 -1	+1 -1	+5 -4	+0.3 -0.3	+0.11 -0.09	+0.00 -0.01	+2 -2	+4 -5	+31 -33	+1910 -1690	
Pal 8	5.3	-22	118	125	5.6	1.79	0.52	24	72	601	-159674	D
		+13 -16	+14 -13	+15 -13	+0.4 -0.6	+0.44 -0.26	+0.04 -0.09	+3 -2	+6 -6	+103 -89	+5561 -4578	

Таблица 1. Продолжение

Имя	d_{GC} , кпк	Π , км/с	Θ , км/с	V_{tot} , км/с	apo , кпк	$peri$, кпк	ecc	θ , град	T_r , млн. лет	L_Z , (кпк) км/с	E , км ² /с ²	Тип
NGC 6681	2.0	219	57	287	4.5	0.67	0.74	84	52	37	-168029	LE
		+35 -120	1 -50	+8 -5	+0.6 -0.4	+0.32 -0.20	+0.09 -0.12	+9 -7	+5 -2	+51 -41	+4669 -2227	
NGC 6712	3.6	145	25	208	5.5	0.18	0.94	79	58	92	-168520	GE
		+3 -2	+13 -10	+4 -6	+0.2 -0.4	+0.10 -0.08	+0.02 -0.04	+4 -6	+2 -5	+53 -38	+3354 -3335	
NGC 6715	18.6	231	51	313	53.9	14.66	0.57	80	862	886	-49410	Sgr
		+5 -4	+14 -13	+9 -7	+10.6 -6.8	+1.02 -0.92	+0.04 -0.03	+3 -3	+189 -118	+244 -233	+4900 -3976	
NGC 6717	2.5	-11	115	118	3.1	0.65	0.65	32	34	249	-195877	B
		+14 -17	+5 -9	+6 -7	+0.2 -0.5	+0.21 -0.06	+0.01 -0.10	+3 -4	+5 -1	+33 -32	+4456 -3703	
NGC 6723	2.6	101	-179	209	3.1	1.84	0.26	90	40	-2	-175214	B
		+12 -197	-17	+4 -4	+0.2 -0.2	+0.18 -0.12	+0.03 -0.03	+8 -7	+4 -1	+66 -75	+3304 -2456	
NGC 6749	5.0	-23	110	112	5.1	1.55	0.53	3	62	555	-167074	D
		+12 -14	+8 -8	+9 -7	+0.3 -0.2	+0.17 -0.15	+0.04 -0.03	+0 -0	+4 -1	+45 -41	+3062 -2247	
NGC 6752	5.5	-24	179	190	5.7	3.57	0.23	24	82	932	-147118	D
		+3 -3	+5 -3	+5 -3	+0.2 -0.2	+0.21 -0.15	+0.01 -0.02	+1 -1	+4 -2	+47 -38	+1997 -1841	
NGC 6760	5.0	91	147	173	5.6	2.17	0.44	6	72	725	-158822	D
		+10 -10	+6 -6	+5 -5	+0.2 -0.2	+0.19 -0.18	+0.03 -0.03	+0 -0	+3 -3	+52 -50	+2626 -2401	
NGC 6779	9.3	154	-14	184	12.5	0.25	0.96	100	134	-129	-119887	GE
		+1 -1	+6 -4	+3 -3	+0.5 -0.7	+0.15 -0.06	+0.01 -0.02	+3 -4	+6 -8	+57 -40	+2614 -3009	
Terzan 7	15.3	259	32	319	42.3	12.73	0.54	85	656	422	-56985	Sgr
		+6 -6	+14 -15	+9 -8	+6.5 -4.7	+0.75 -0.68	+0.03 -0.03	+3 -2	+109 -75	+180 -200	+4381 -3760	
Pal 10	6.6	-64	187	198	7.2	4.00	0.28	7	100	1240	-137907	D
		+10 -10	+8 -8	+9 -8	+0.3 -0.2	+0.29 -0.25	+0.03 -0.02	+0 -0	+5 -3	+69 -60	+2591 -2050	
Arp 2	21.2	242	61	306	61.3	17.54	0.55	79	1026	1128	-45162	Sgr
		+6 -8	+18 -11	+8 -7	+9.4 -7.0	+0.89 -0.77	+0.04 -0.03	+2 -3	+169 -125	+327 -213	+3483 -3081	
NGC 6809	4.1	-199	75	220	5.7	1.18	0.66	68	76	262	-154418	LE
		+3 -4	+11 -13	+3 -2	+0.3 -0.3	+0.15 -0.14	+0.04 -0.04	+4 -3	+3 -3	+41 -46	+2721 -2294	
Terzan 8	19.1	269	41	317	60.0	16.12	0.58	83	982	646	-46155	Sgr
		+7 -6	+12 -17	+9 -7	+9.7 -6.9	+0.88 -0.76	+0.03 -0.04	+3 -2	+174 -121	+171 -267	+3726 -3177	
Pal 11	8.1	-17	138	140	8.2	3.47	0.40	27	110	1012	-132025	D
		+15 -19	+9 -12	+11 -12	+0.4 -0.3	+0.37 -0.45	+0.06 -0.04	+2 -2	+7 -5	+81 -107	+2555 -2704	
NGC 6838	7.0	38	204	211	7.3	5.00	0.18	12	110	1422	-132364	D
		+5 -5	+3 -2	+2 -2	+0.2 -0.1	+0.13 -0.11	+0.02 -0.01	+0 -1	+3 -1	+28 -25	+1077 -941	
NGC 6864	14.6	-98	21	112	16.5	0.59	0.93	56	186	238	-103497	GE
		+8 -7	+11 -13	+8 -8	+0.8 -0.7	+0.47 -0.23	+0.03 -0.05	+20 -13	+10 -9	+136 -147	+2440 -2223	
NGC 6934	12.7	-290	105	332	41.4	2.57	0.88	23	528	1224	-62807	GE
		+14 -13	+20 -22	+12 -12	+5.4 -5.2	+0.74 -0.50	+0.02 -0.03	+3 -1	+83 -76	+228 -267	+4391 -4984	

Таблица 1. Окончание

Имя	d_{GC} , кпк	Π , км/с	Θ , км/с	V_{tot} , км/с	apo , кпк	$peri$, кпк	ecc	θ , град	T_r , млн. лет	L_Z , (кпк км)/с	E , км ² /с ²	Тип
NGC 6981	12.8	-158	2	232	22.5	0.38	0.97	79	254	15	-89 148	GE*
		+11 -9	+15 -11	+7 -7	+1.2 -0.8	+0.10 -0.23	+0.02 -0.01	+29 -27	+17 -9	+141 -103	+2531 -1655	
NGC 7006	38.5	-144	-20	167	56.5	1.72	0.94	125	758	-725	-52 150	GE*
		+5 -4	+7 -7	+4 -6	+3.1 -3.2	+0.67 -0.48	+0.02 -0.02	+11 -10	+52 -54	+241 -249	+1759 -1956	
NGC 7078	10.6	6	119	123	10.6	3.60	0.49	28	142	1128	-119827	D
		+5 -7	+6 -6	+6 -6	+0.4 -0.3	+0.29 -0.26	+0.03 -0.02	+2 -1	+4 -6	+70 -69	+1919 -1789	
NGC 7089	10.4	168	-15	240	18.5	0.55	0.94	116	208	-120	-98441	GE
		+5 -5	+8 -5	+9 -6	+1.2 -0.9	+0.04 -0.24	+0.03 -0.00	+9 -13	+16 -11	+61 -41	+3033 -2478	
NGC 7099	7.2	-34	-55	127	8.2	0.98	0.79	119	94	-233	-137 334	GE
		+9 -8	+12 -10	+7 -6	+0.4 -0.2	+0.24 -0.20	+0.04 -0.05	+3 -5	+5 -3	+54 -45	+2437 -1730	
Pal 12	15.7	143	304	354	69.9	15.49	0.64	67	1140	2142	-42 546	Sgr
		+20 -28	+17 -16	+14 -14	+18.2 -14.3	+0.72 -0.55	+0.05 -0.06	+1 -2	+297 -313	+144 -145	+5008 -5202	
Pal 13	27.0	264	-92	293	90.9	8.31	0.83	120	1418	-1876	-37 614	GE
		+5 -5	+10 -11	+7 -6	+8.3 -7.2	+0.93 -0.64	+0.01 -0.01	+4 -4	+164 -138	+238 -258	+2142 -2097	
NGC 7492	25.4	-91	-6	112	28.3	3.34	0.79	92	354	-57	-76 660	GE*
		+18 -13	+6 -5	+11 -14	+3.3 -2.6	+1.20 -1.05	+0.06 -0.06	+2 -3	+29 -22	+59 -45	+2636 -2436	

Примечание. Для каждого ШС приведены значения параметров, полученные в результате интегрирования орбит на 5 млрд. лет назад. В столбцах приведены: начальное расстояние ШС от центра Галактики d_{GC} ; радиальная скорость Π ; круговая скорость Θ ; полная 3D скорость V_{tot} ; апоцентрическое расстояние (apo) орбиты; перицентрическое расстояние ($peri$) орбиты; эксцентриситет (ecc) орбиты; угол наклона орбиты θ ; период орбиты T_r ; Z-компонент углового момента L_Z ; полная энергия E ; подсистема в Галактике, к которой отнесен объект (столбец "Тип"). Звездочкой отмечены объекты с наибольшими изменениями орбитальных свойств.

кие ШС, измерение собственных движений которых сопряжено с наибольшими трудностями. Благодаря повышению точности данных каталога Gaia EDR3 по сравнению с данными каталога Gaia DR2, именно у далеких объектов сильно изменились значения собственных движений. Такими объектами оказались E1, Eridanus, Puyis, Palomar 3, Palomar 4 и Crater, принадлежащие подсистеме HE, и NGC 2419 и Whiting 1, принадлежащие Sgr. Орбиты этих ШС в двух проекциях (X, Y) и (R, Z), построенные по данным EDR3 и DR2, показаны на рис. 4 красным и голубым цветом соответственно. Как видно из рисунков, наибольшее изменение орбиты коснулось самого далекого объекта E1.

Другим классом объектов, претерпевших значительные изменения в орбитальном движении, являются ШС с сильно вытянутыми радиальными орбитами. Мы отдельно выделили 10 наиболее ярких представителей: NGC 362, NGC 1851, NGC 1904, NGC 4147, Palomar 14, NGC 6229, Palomar 15, NGC 6981, NGC 7006, NGC 7492. Все они при-

надлежат подсистеме GE. Орбиты этих шаровых скоплений приведены на рис. 5. Как видно из рисунка, наиболее сильным изменениям подверглись орбиты трех ШС: Palomar 14, который относится и к самым далеким объектам, Palomar 15 и NGC 6981.

Отметим, что скопления E1, Eridanus, Puyis, Palomar 3, Palomar 4, Crater и Palomar 14 дали наибольшие отклонения от линии совпадения на рис. 3.

Четырьмя остальными ШС, орбиты которых не так сильно, но все же заметно изменились, являются NGC 5946 и FSR 1735, принадлежащие подсистеме LE, ESO 280-06 (GE) и объект диска NGC 6569.

Таким образом, наибольшему изменению орбитальных свойств подверглись наиболее далекие объекты и объекты с сильно вытянутыми в радиальном направлении орбитами. Все 22 рассмотренных нами ШС с существенно изменившимися орбитальными свойствами обозначены в послед-

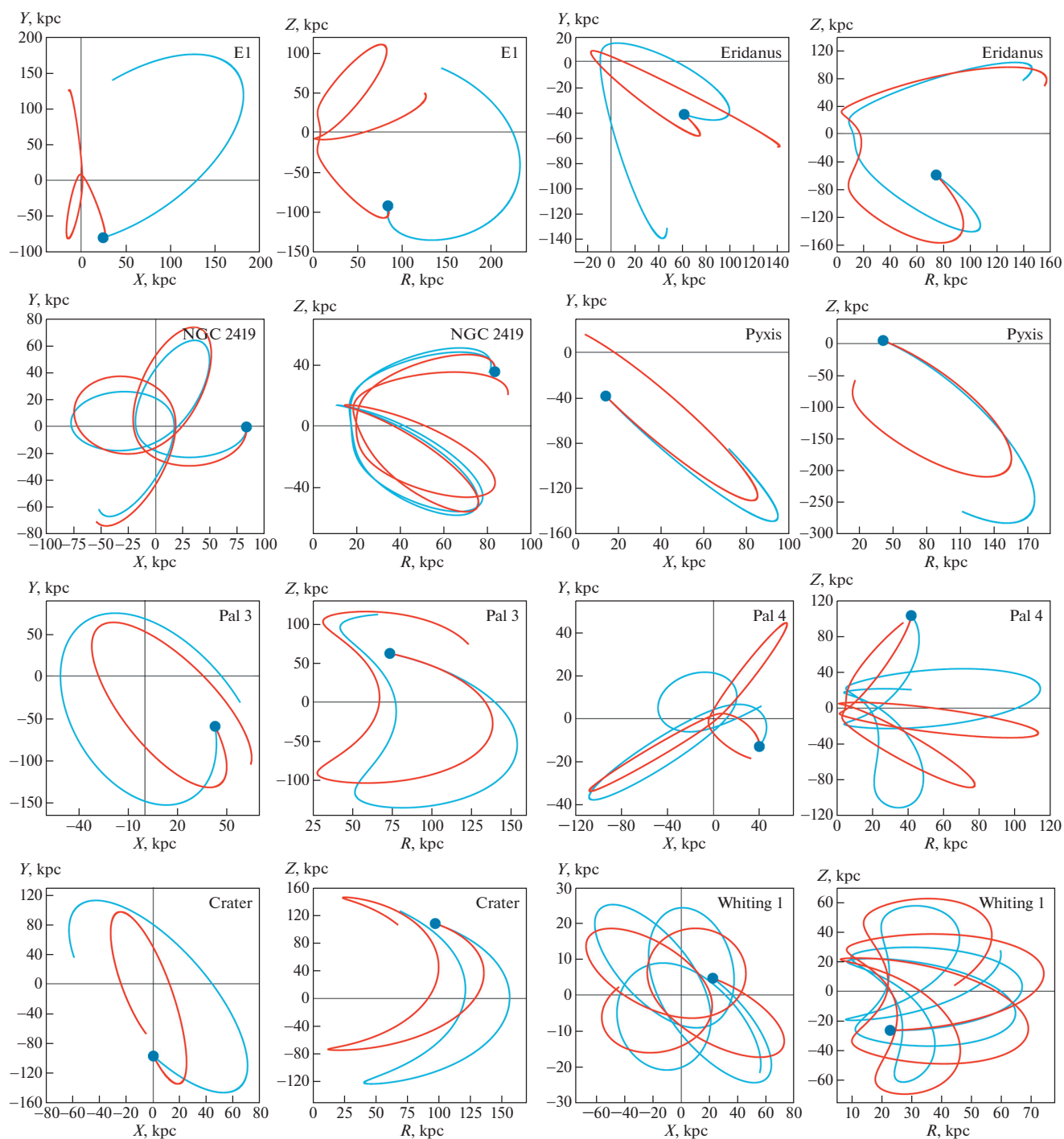


Рис. 4. Орбиты очень далеких ШС. Голубым цветом изображены орбиты ШС с собственными движениями из Gaia DR2, красным – из Gaia EDR3. Начало орбиты обозначено синим кружком.

нем столбце табл. 1 звездочкой. У остальных ШС орбиты изменились совсем незначительно, так что для изучения их динамики можно пользоваться каталогом орбит, представленным в работе [7].

На рис. 6 представлены двумерные диаграммы “ L_Z-E ” (а), “ $L_Z/ecc-E$ ” (б), “ $L_Z/ecc-apo$ ” (с),

“ T_r-E ” (д). Диаграммы (а), (б) и (с) интересны тем, что на них отчетливо видна фрагментация распределения ШС по подсистемам Галактики. Диаграмма (б), по горизонтальной оси которой отложены величины L_Z/ecc вместо L_Z по сравнению с диаграммой (а), дает возможность более

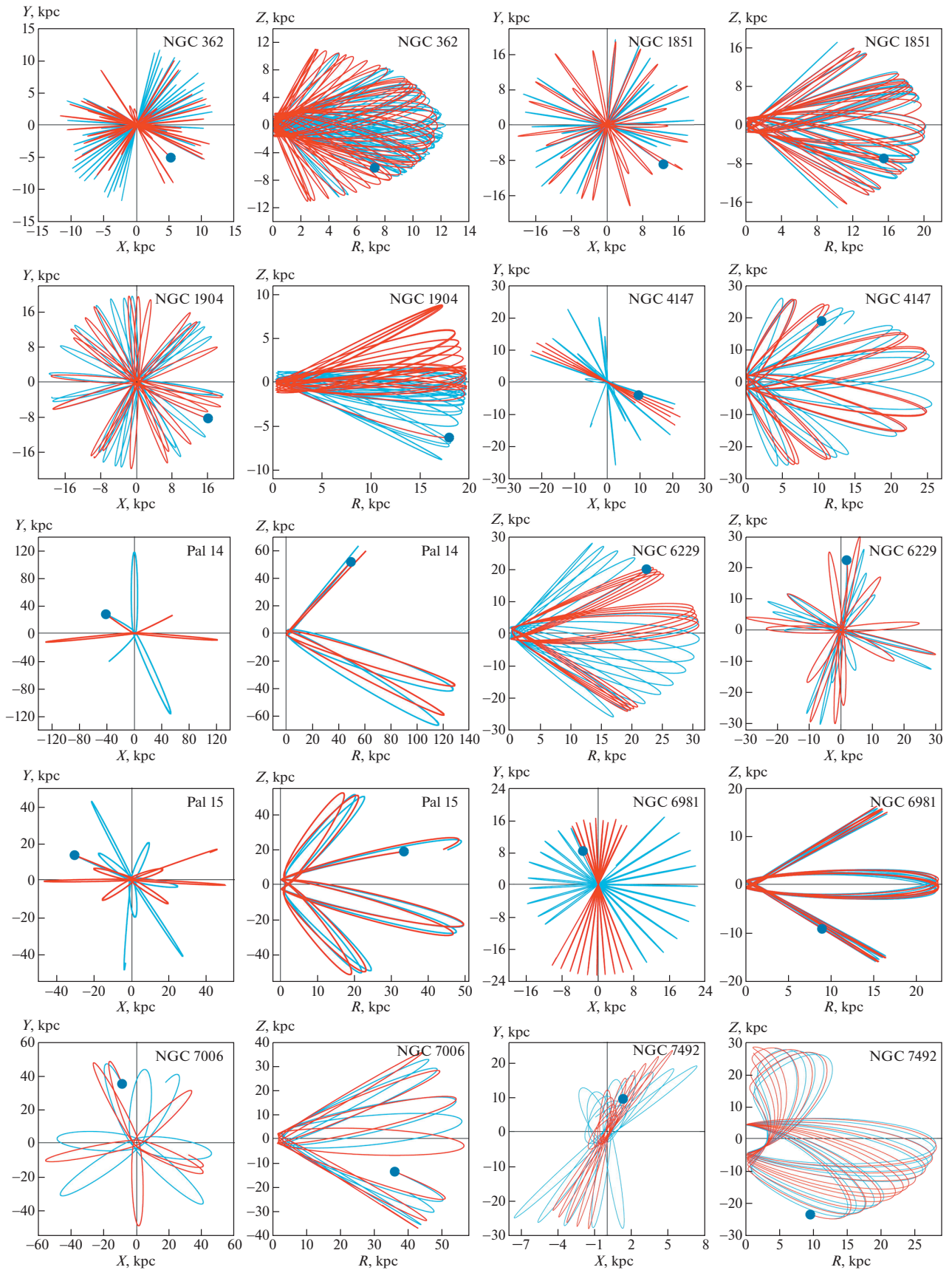


Рис. 5. Сильно радиально вытянутые орбиты ШС. Голубым цветом изображены орбиты ШС с собственными движениями из Gaia DR2, красным — из Gaia EDR3. Начало орбиты обозначено синим кружком.

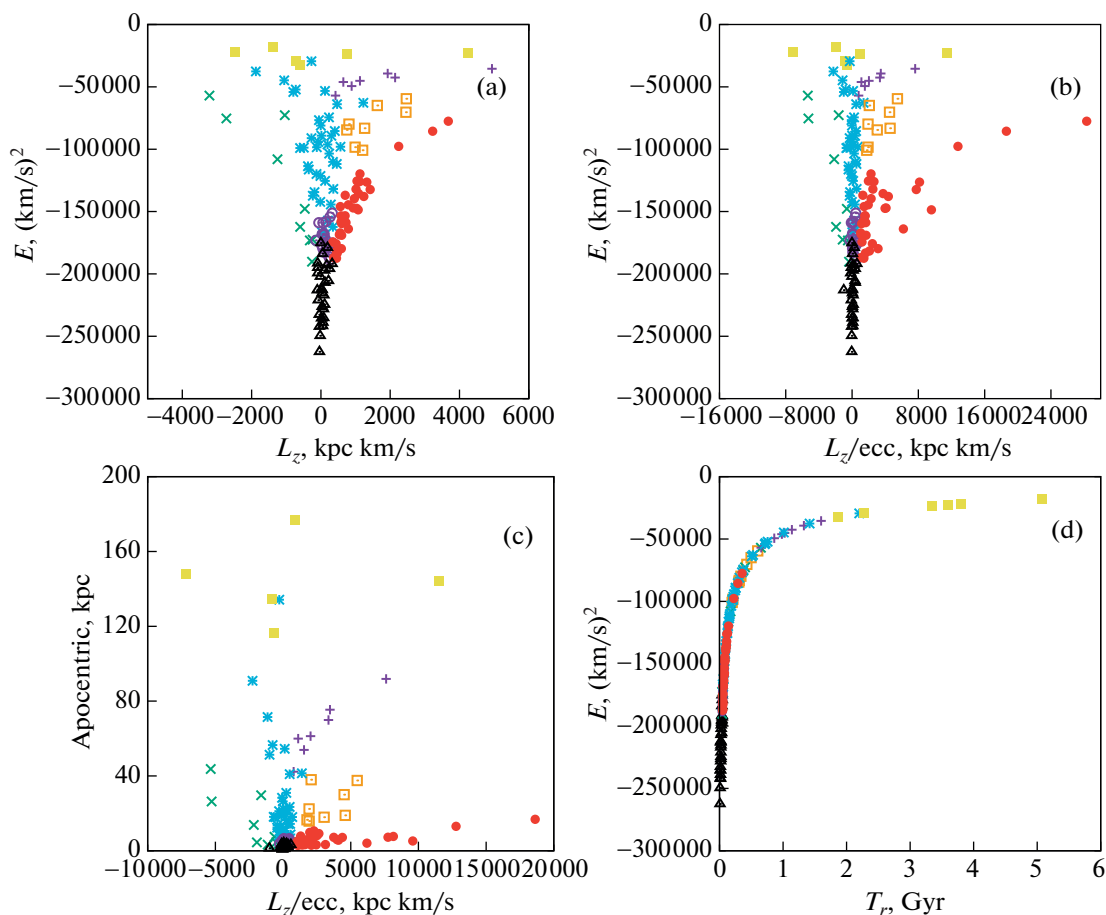


Рис. 6. Двумерные диаграммы “ L_z-E ” (a), “ $L_z/ecc-E$ ” (b), “ $L_z/ecc-apo$ ” (c), “ T_r-E ” (d). Различными значками обозначена принадлежность ШС различным подсистемам Галактики: красные кружки – диску (D), черные треугольники – балджу (B), голубые звездочки – Gaia-Enceladus (GE), оранжевые квадраты – потоку Хелми (H99), зеленые крестики – галактике Sequoia (Seq), фиолетовые крестики – карликовой галактике Sagittarius (Sgr), желтые квадраты – несвязанной высокоэнергетической группе (HE), фиолетовые открытые кружки – несвязанной низкоэнергетической группе (LE).

тонкого структурирования распределения ШС, принадлежащих толстому диску (D). Это связано с тем, что дисковые объекты обладают сравнительно небольшими значениями эксцентриситета, что позволяет в результате деления на ecc “разнести” их по оси абсцисс. Тонкая структура распределения объектов диска хорошо видна и на диаграмме (c). Очевидно, дальнейшее изучение структурного распределения ШС представляет интерес с точки зрения более тонкой классификации ШС.

Диаграмма “ T_r-E ” (d) интересна тем, что представляет собой однозначную зависимость между периодом и полной энергией объектов Галактики, задаваемую лишь гравитационным потенциалом Галактики. Эта зависимость может быть достаточно точно аппроксимирована гиперболической функцией. Тогда зная, например, полную энергию ШС, можно сразу оценить пе-

риод орбиты, не интегрируя ее. И наоборот, зная период орбиты, можно оценить полную энергию E ШС.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Появление все более точных астрометрических данных о координатах и пространственных скоростях шаровых скоплений позволяет изучать их движение в трехмерном пространстве путем интегрирования орбит в гравитационном потенциале Галактики.

Уже благодаря данным Gaia DR2 [1–3] о собственных движениях почти всех известных на сегодняшний день шаровых скоплений стало возможным изучение их кинематики и динамики, проведение классификации ШС по подсистемам Млечного Пути с целью определения объектов, образовавшихся непосредственно в Галактике,

либо привнесенных извне в результате аккреции с других (карликовых) галактик, окружающих Млечный Путь. Создание каталога орбит и их параметров более 150 ШС [7] с известными данными о 6d фазовом пространстве, необходимом для интегрирования орбит, дает высокоинформативный материал для последующих исследований.

Недавнее появление новой, более точной версии каталога собственных движений поставило задачу уточнения орбитального движения ШС, чему и была посвящена данная работа. В результате использования новых, более точных собственных движений, определенных по данным каталога Gaia EDR3, удалось обнаружить 22 ШС, орбитальное движение которых претерпело существенное изменение. Это: NGC 362, Whiting 1, E1, Eridanus, NGC 1851, NGC 1904, NGC 2419, Pyxis, Palomar 3, Palomar 4, Crater, NGC 4147, NGC 5946, Palomar 14, NGC 6229, FSR 1735, Palomar 15, ESO 280–06, NGC 6569, NGC 6981, NGC 7006, NGC 7492. Основную часть этого списка составляют очень далекие ШС, а также ШС с сильно вытянутыми в направлении к центру Галактики орбитами, принадлежащие подсистеме Галактики Gaia–Enceladus.

Таким образом, основным результатом данной работы является создание нового каталога орбитальных параметров 152 ШС с собственными движениями из Gaia EDR3, с указанием объектов с существенно изменившимися орбитальными свойствами по сравнению с каталогом, основным на использовании собственных движений из Gaia DR2.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность анонимному рецензенту за замечания, позволившие улучшить статью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *A. Helmi, F. van Leeuwen, P. J. McMillan, D. Massari, et al.*, *Astron. and Astrophys.* **616**, id. A12 (2018).
2. *H. Baumgardt, M. Hilker, A. Sollima, and A. Bellini*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **482**, 5138 (2019).
3. *E. Vasiliev*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **484**, 2832 (2019).
4. *A. T. Bajkova, G. Carraro, V. I. Korchagin, N. O. Budanova, and V. V. Bobylev*, *Astrophys. J.* **895**, id. 69 (2020).
5. *D. Massari, H. H. Koppelman and A. Helmi*, *Astron. and Astrophys.* **630**, id. L4 (2019).
6. *G. C. Myeong, E. Vasiliev, G. Iorio, N. W. Evans, and V. Belokurov*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **488**, 1235 (2019).
7. *A. T. Bajkova and V. V. Bobylev*, *Res. Astron. and Astrophys.* (in press), arXiv:2008.13624 [astro-ph.GA] (2021).
8. *E. Vasiliev and H. Baumgardt*, arXiv:2102.09568 [astro-ph.GA] (2021).
9. *A. T. Bajkova and V. V. Bobylev*, *Astron. Letters* **42**, 567 (2016).
10. *A. T. Bajkova and V. V. Bobylev*, *Open Astronomy* **26**, 72 (2017).
11. *M. Miyamoto and R. Nagai*, *Publ. Astron. Soc. Japan* **27**, 533 (1975).
12. *J. F. Navarro, C. S. Frenk, and S. D. M. White*, *Astrophys. J.* **490**, 493 (1997).
13. *P. Bhattacharjee, S. Chaudhury, and S. Kundu*, *Astrophys. J.* **785**, id. 63 (2014).
14. *A. Irrgang, B. Wilcox, E. Tucker and L. Schiefelbein*, *Astron. and Astrophys.* **549**, id. A137 (2013).
15. *H. H. Koppelman and A. Helmi*, arXiv:2006.16283 [astro-ph.GA] (2020).
16. *W. Wang, J. Han, M. Cautun, Z. Li, and M. Ishigaki*, *Sci. China Phys. Mechanics and Astronomy* **63**, id. 109801 (2020).
17. *R. Schönrich, J. Binney and W. Dehnen*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **403**, 1829 (2010).
18. *V. V. Bobylev and A. T. Bajkova*, *Astron. Letters* **42**, 1 (2016).
19. *W. Harris*, arXiv:1012.3224 [astro-ph.GA] (2010).