

"Химический состав шаровых скоплений подсистем Млечного Пути по данным GAIA"

Владимир Корчагин

(Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону)

(А.Т. Байкова, Н.О. Буданова , В.В. Бобылев, G. Carraro)



M 80

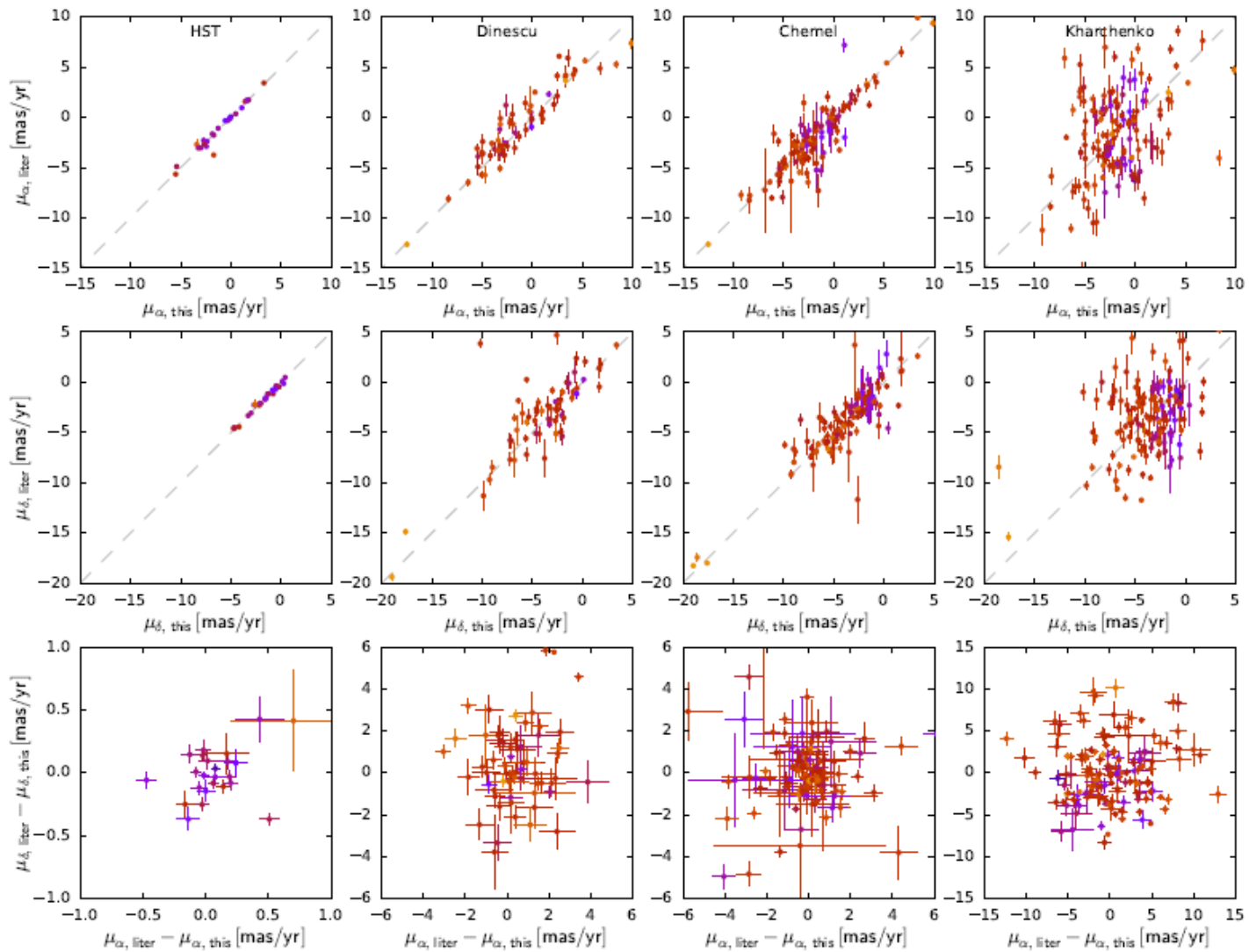


Figure 2. Comparison of PM measurements between different catalogues and this work: *HST* (several studies, primarily [Sohn et al. 2018](#)) – first column; [Dinescu et al. \(1999\)](#) and several later papers – second column; [Chemel et al. \(2018\)](#) – third column; [Kharchenko et al. \(2013\)](#) – last column. Top row: comparison between $\overline{\mu_\alpha}$ from the literature and from this work; middle row: same for $\overline{\mu_\delta}$; bottom row: difference between the literature measurements and this work (two PM components plotted against each other, note the different scale for each column). Colours denote the distance to the clusters (same colour scheme as in the previous plot).

$$V(\text{km/s}) = 4.74 \mu (\text{mas/yr}) * D (\text{kpc})$$

- Posti&Helmi (2018) – 8-параметрическое решение (статистика Байеса)

для 2-х компонентной функции распределения (гало + диск)
(дискковая компонента ШС вращается со скоростью 220 км/сек в окрестности Солнца)

- Vasiliev (2019) – однокомпонентная функция распределения. Заметное вращение совокупности шаровых скоплений «в целом»

Наш подход основан на идее, предложенной Posti et al. (2018) для разделения звезд по подсистемам Галактики, с помощью элементов их орбит. Качественно, шаровые скопления, принадлежащие диску имеют сравнительно малые эксцентриситеты и большие вращательные моменты, в то время как объекты гало обладают меньшими вращательными моментами и большими эксцентриситетами по сравнению с ШС диска.

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

$$\Phi_b(r) = -\frac{M_b}{(r^2 + b_b^2)^{1/2}},$$

$$\Phi_d(R, Z) = -\frac{M_d}{\left[R^2 + \left(a_d + \sqrt{Z^2 + b_d^2} \right)^2 \right]^{1/2}}.$$

$$\Phi_h(r) = -\frac{M_h}{r} \ln \left(1 + \frac{r}{a_h} \right).$$

- Gaia Collaboration, A. Helmi, F. et al., *Astron. Astrophys.* (2018)
- E. Vasiliev, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 484, 2832 (2019)
- Harris, W., 2010, ArXiv e-prints

Критерии разделение шаровых скоплений по подсистемам Галактики

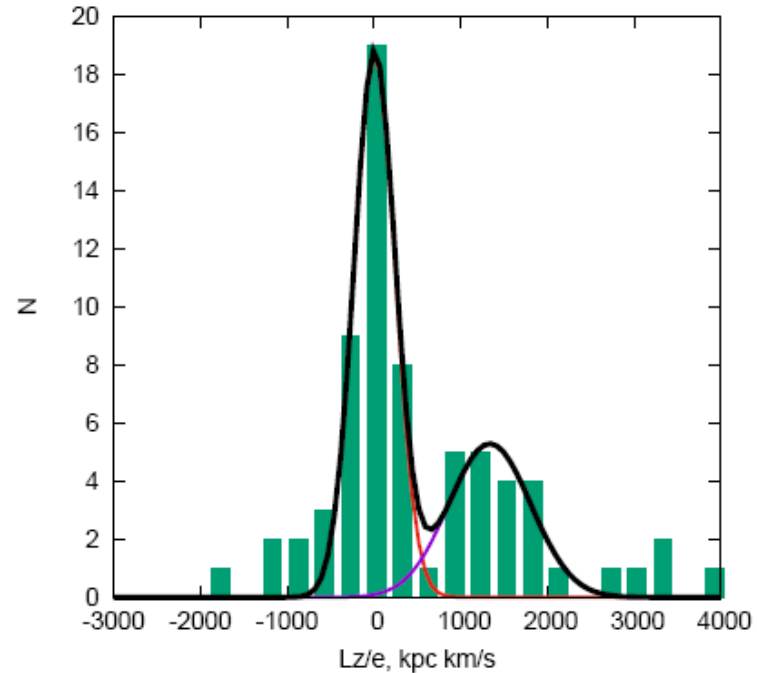
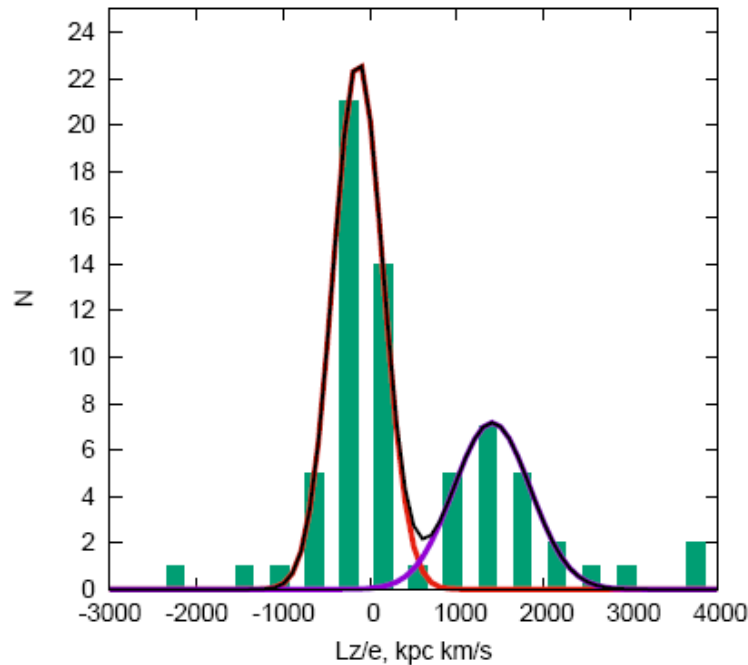
Первый этап (выделение объектов бар/балджа и гало)

Wegg & Gerhard (2013), определивших размеры центрального бара. Скопления, с координатами $|X| \leq 2.2$ кпк, $|Y| \leq 1.4$ кпк, $|Z| \leq 1.1$ кпк принадлежат бару.

Для гало $|Z| > 3.5$ кпк

Итог: 17 объектов бар/балджа, 55 объектов гало, 75 объектов дальнейшего разделение.

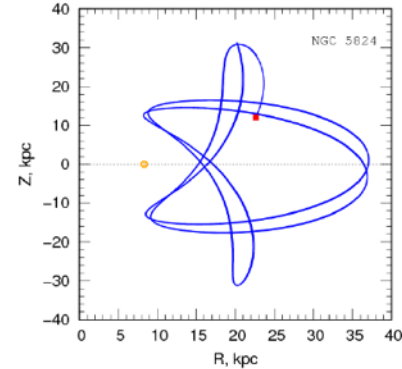
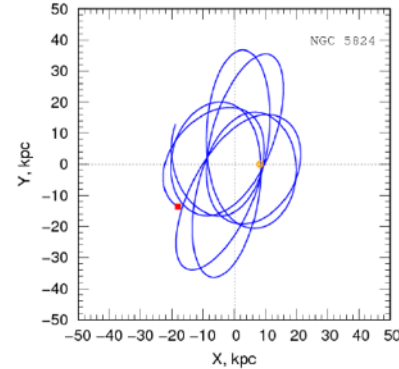
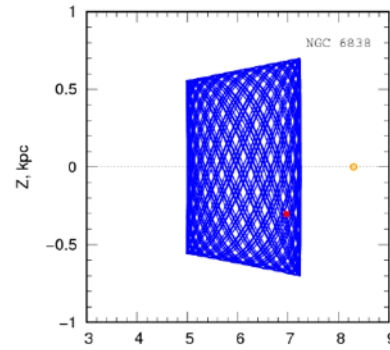
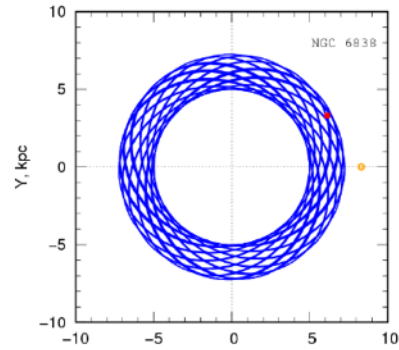
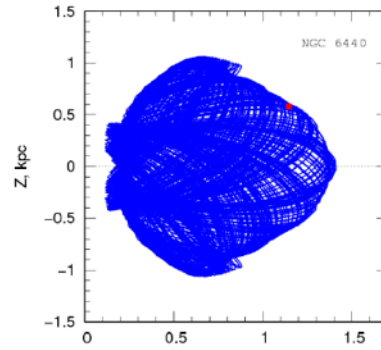
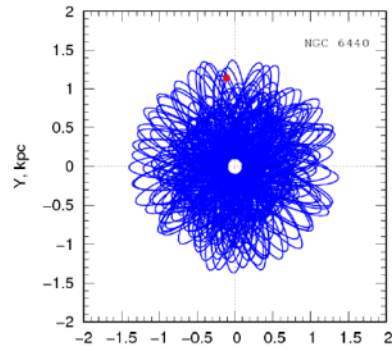
Второй этап (выделение объектов диска (и гало)) Функции распределения по параметрам шаровых скоплений



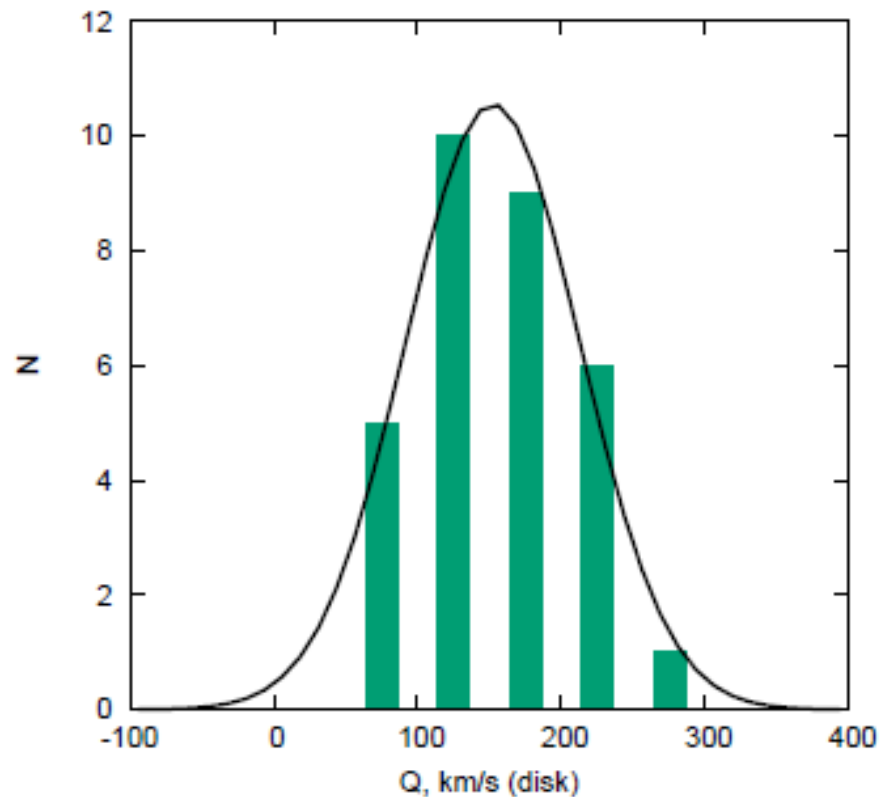
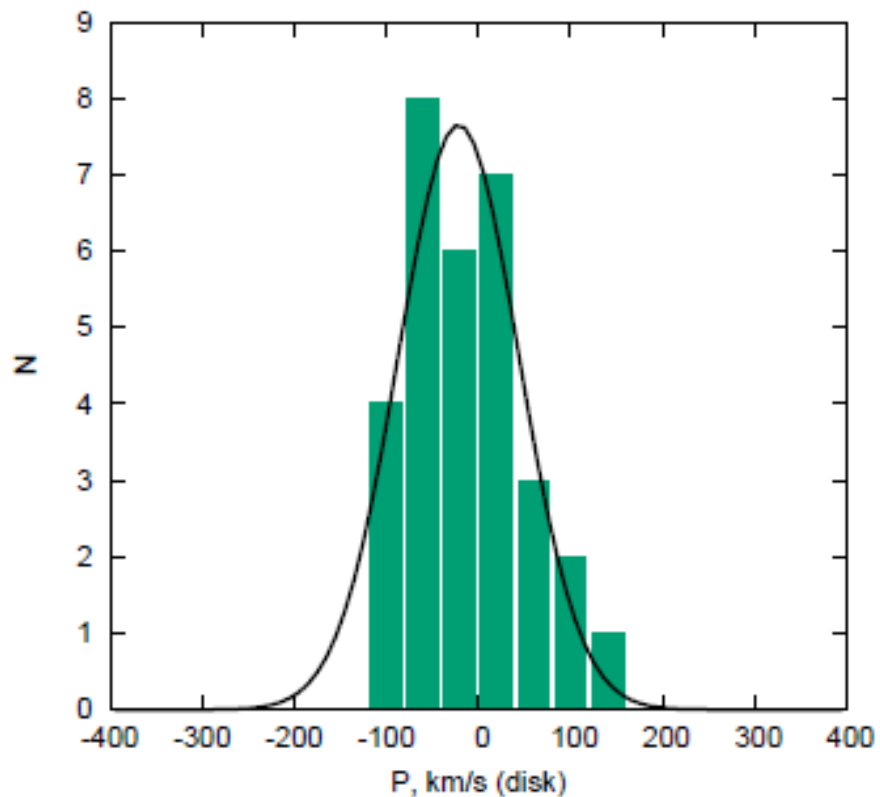
$$Lz/e = Q \times R/e$$

Распределение шаровых скоплений по величине Lz/e
Слева - модель NFW, справа - модель Allen & Santillan (1991)

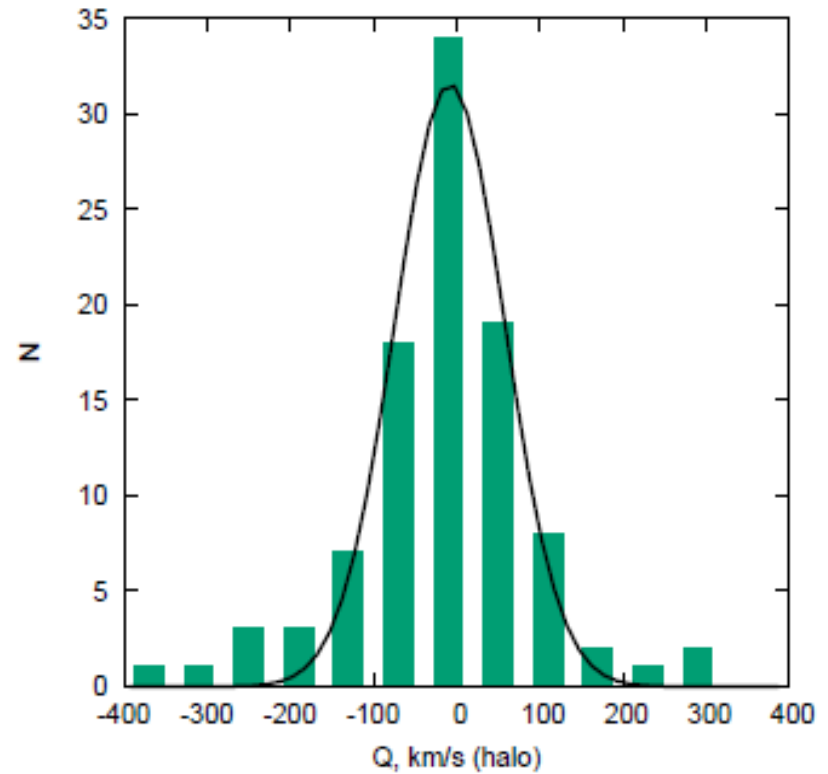
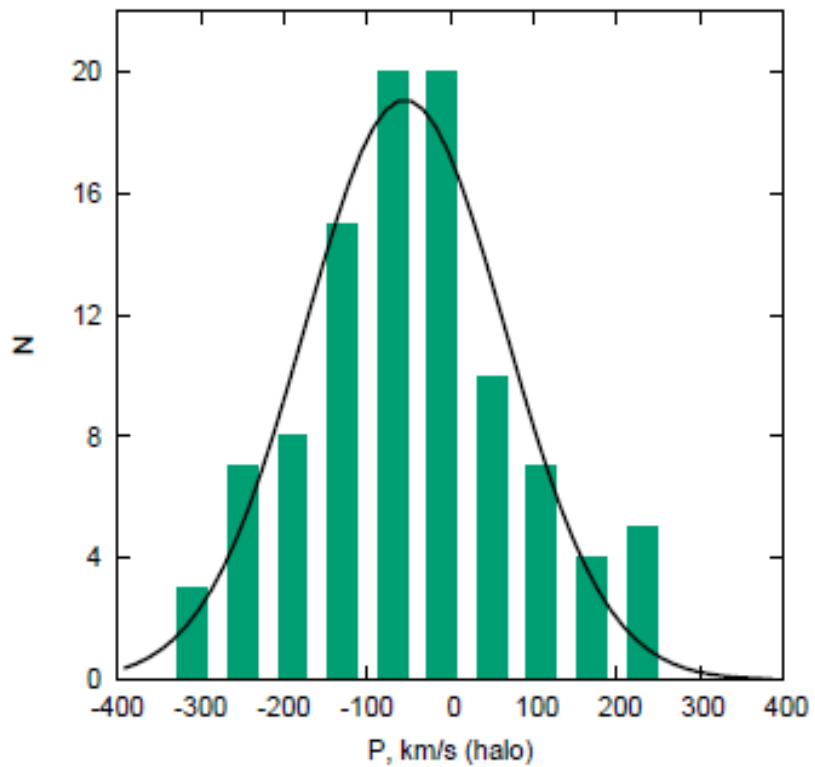
Типичные орбиты скоплений, принадлежащих балджу (NGC 6440), диску (NGC 6838), и гало (NGC 5824)



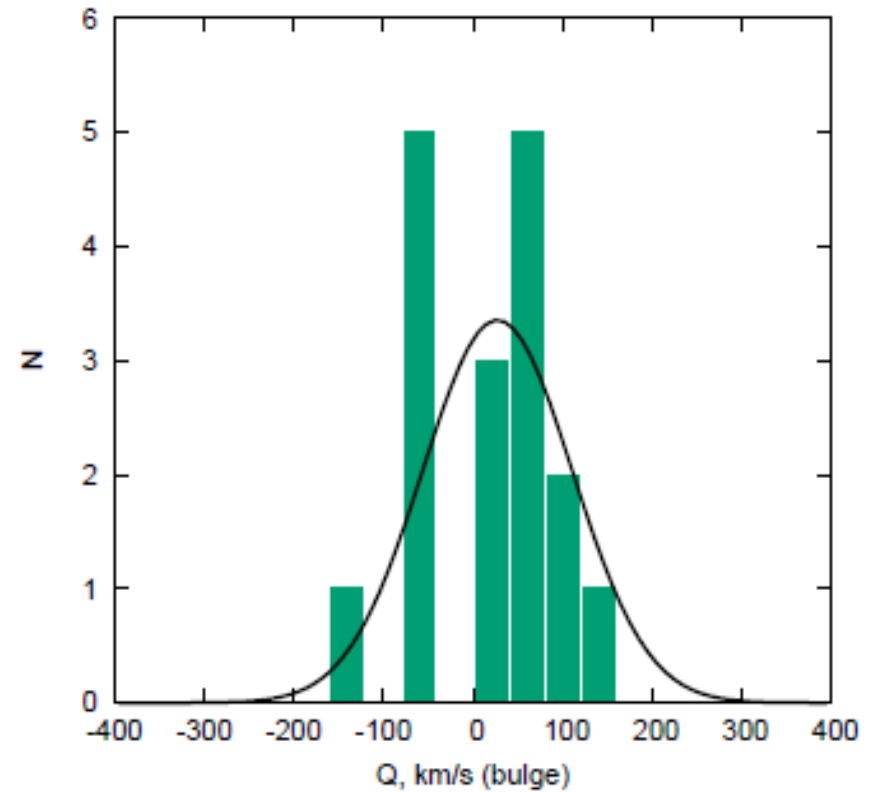
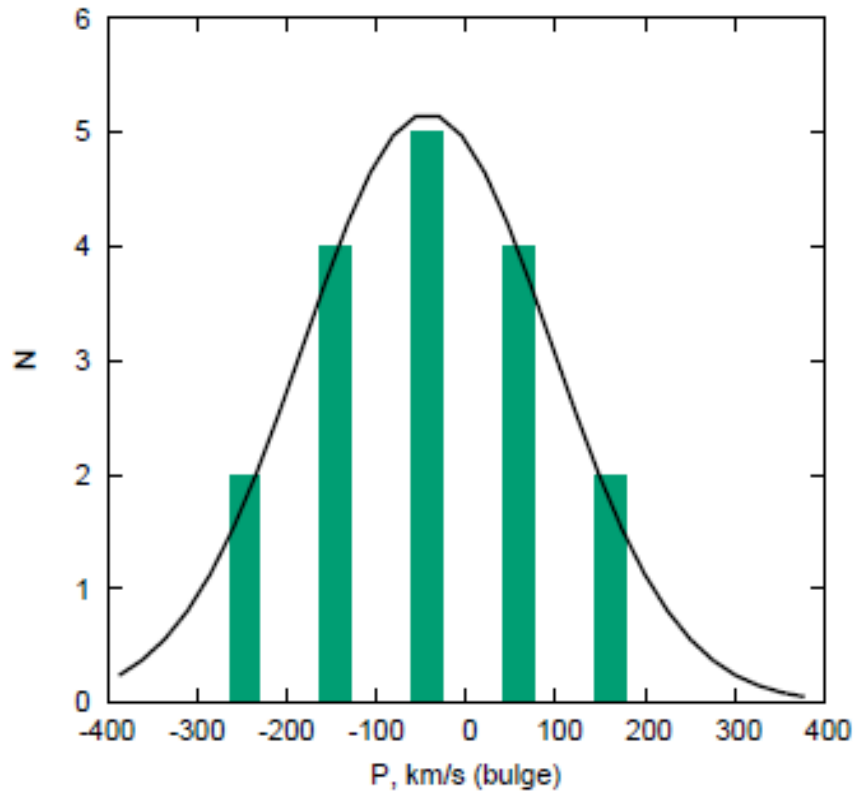
Распределения по скоростям шаровых скоплений толстого диска.



Распределения по скоростям шаровых скоплений гало



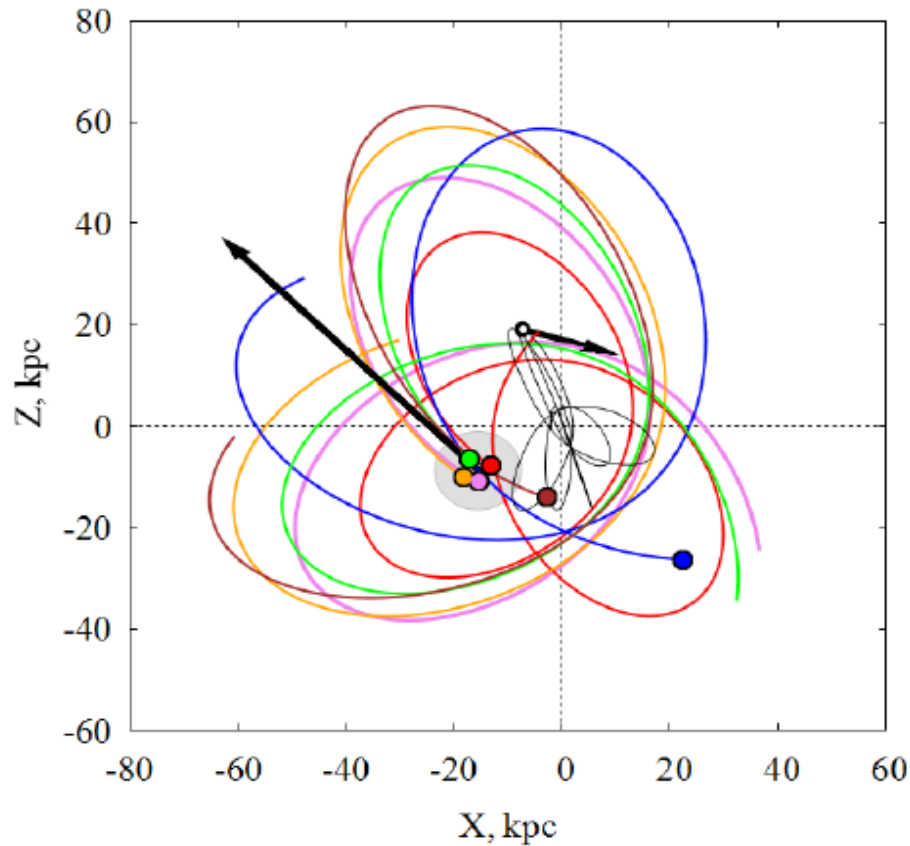
Распределения по скоростям шаровых скоплений бара/балджа



Кинематические параметры подсистем шаровых скоплений, принадлежащих балджу, диску и гало:

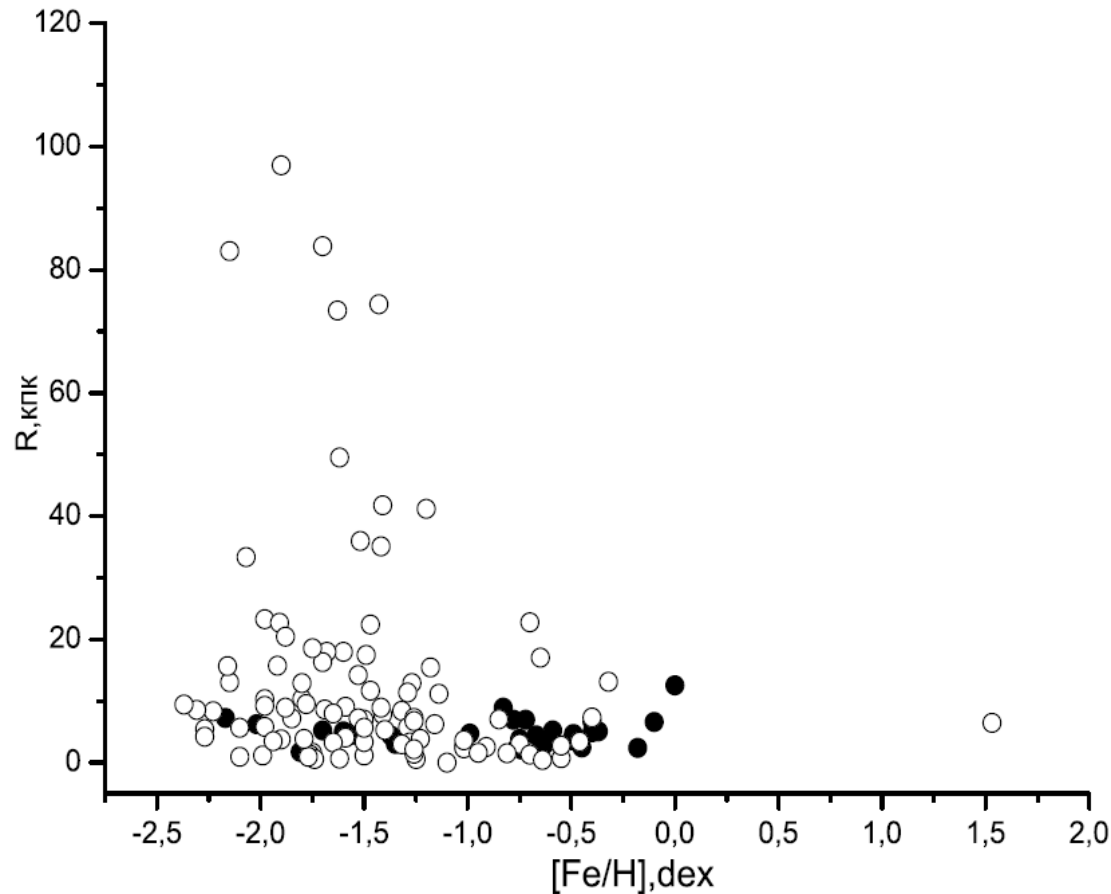
Galaxy subsystem	Number of objects N	Modified NFW model (5%)		Modified NFW model(10%)		Allen and Santillán model	
		$\langle \Pi \rangle, \text{ km s}^{-1}$	$\langle \Theta \rangle, \text{ km s}^{-1}$	$\langle \Pi \rangle, \text{ km s}^{-1}$	$\langle \Theta \rangle, \text{ km s}^{-1}$	$\langle \Pi \rangle, \text{ km s}^{-1}$	$\langle \Theta \rangle, \text{ km s}^{-1}$
Bulge	17	0.5 ± 12.5	34.4 ± 11.5	0.41 ± 20.34	34.43 ± 15.35	-1.5 ± 12.5	19.0 ± 11.0
Thick disk	31	13.8 ± 4.8	180.0 ± 5.6	13.57 ± 6.63	179.57 ± 6.60	10.0 ± 5.1	170.0 ± 5.4
Halo	100	-18.5 ± 4.0	16.9 ± 4.3	-19.44 ± 5.32	16.44 ± 5.94	-17.9 ± 4.0	18.9 ± 4.4

Бар/ балдж - 17 объектов, диск - 31 объект, гало - 100 объектов



Орбиты скоплений, связанных с Sagittarius. NGC 5634 – black, Terzan 8 – violet, Terzan 7 – red, Arp – orange, Whiting 1 – blue, NGC6715 – green, Pal 12 – brown
Bellazini et al. (2012)

Химический состав шаровых скоплений в диске и гало Галактики



Металличности шаровых скоплений гало и толстого диска Галактики в зависимости от расстояния до галактического центра. Незаполненные символы - гало, заполненные символы - диск.

Средние значения металличностей для подсистем Млечного Пути

Диск -	$[\text{Fe}/\text{H}] = -0.96 \pm 0.11 \text{dex}$
Гало -	$[\text{Fe}/\text{H}] = -1.58 \pm 0.05 \text{dex}$
Бар/ балджа -	$[\text{Fe}/\text{H}] = -0.95 \pm 0.08 \text{dex}$

Forbes & Bridges, MN (2010)

Средние значения металличности ретроградных шаровых скоплений гало и скоплений, вращающихся в прямом направлении, не показывают статистически значимых различий в содержании тяжелых элементов в этих группах.

Выводы

Классификация ШС по элементам орбит позволяет выделить три их группы:

бар\балдж, гало, толстый диск

ШС принадлежащие бару/балджу имеют вращаются со скоростью $34,4 \pm 11,5$ км/с

ШС толстого диска вращаются со скоростью $180,0 \pm 5,6$ км/с, что согласуется с независимыми оценками скорости вращения толстого диска Галактики

ШС гало имеет медленное вращение $16,9 \pm 4,3$ км/с

Критерий Стьюдента показывает статистически значимые различия между химическими составами ШС гало и толстого диска.

Химические составы ШС диска и бара.балджа статистически не различимы

Химические составы ШС гало, вращающихся в сторону вращения диска и ретроградных ШС статистически неразличимы, что ставит под сомнение