

УДК 524.6-327:524.4

# КИНЕМАТИКА ДИСКА ГАЛАКТИКИ ПО ДАННЫМ О РАССЕЯННЫХ ЗВЕЗДНЫХ СКОПЛЕНИЯХ

© 2023 М. Э. Попова<sup>1\*</sup><sup>1</sup> Коуровская астрономическая обсерватория им. К. А. Бархатовой Уральского федерального университета им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, 620000 Россия

Поступила в редакцию 1 декабря 2023 года; после доработки 15 марта 2023 года; принята к публикации 17 марта 2023 года

Исследована зависимость кинематических свойств подсистем рассеянных скоплений Галактики от их возрастов. Получено, что угловая скорость вращения Галактики в окрестностях Солнца уменьшается до  $25.6 \text{ км с}^{-1} \text{ кпк}^{-1}$  для скоплений с возрастом более 600 млн лет. По кривым вращения Галактики для разных возрастных интервалов на галактоцентрическом расстоянии от 6.0 до 13.0 кпк получено, что более старые рассеянные звездные скопления вращаются заметно медленнее, чем молодые скопления и скопления среднего возраста. Кривая вращения убывает с увеличением галактоцентрического расстояния на всем рассматриваемом интервале расстояний. Наблюдается разделение рассеянных скоплений на объекты толстого и тонкого дисков. Получена близкая к синусоидальной зависимость радиальной составляющей скорости скоплений от галактоцентрического расстояния на интервале расстояний от 6.0 до 13.0 кпк. Не выявлено зависимости вертикальной составляющих скорости от галактоцентрического расстояния.

Ключевые слова: Галактика: кинематика и динамика — рассеянные скопления и ассоциации

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Наша Галактика, несомненно, является эволюционирующим объектом. Особенно это касается диска Галактики, где идут процессы современного звездообразования, связанные с таким проявлением нестационарности, как волны плотности, приводящие к образованию спиральной структуры. Эволюционные процессы должны проявляться и в кинематических характеристиках подсистем диска Галактики (см., например, работу Wang et al. (2023)). Одной из подсистем, в которой удобно рассматривать следствия эволюции, являются рассеянные звездные скопления (далее — РЗС). РЗС считаются хорошими индикаторами галактической структуры, кинематики и динамики в окрестностях Солнца.

При изучении Галактики и ее подсистем большое значение имеет качество наблюдательных данных. В связи с этим РЗС играют важную роль как объекты, содержащие большое количество звезд. Считается, что звездообразование в РЗС происходит почти одновременно в одном и том же межзвездном облаке. Получаемые средние значения кинематических и фотометрических параметров обладают высокой точностью, а совмещение диаграмм «звездная величина — показатель цвета»

вероятных членов скоплений с соответствующими теоретическими изохронами позволяет надежно оценить как расстояния, так и возрасты РЗС (Zhu, 2009).

Ключевую роль в исследованиях галактической структуры, кинематики и динамики играет кривая вращения Галактики. Она, в частности, содержит информацию для построения моделей распределения масс в Галактике. Любое исследование некруговых движений в Галактике требует знания сглаженной кривой вращения. Кривые вращения строились разными авторами для разных областей диска Галактики и по разным типам объектов диска. Среди работ, посвященных построению кривых вращения, можно выделить самые недавние. В них представлены кривые, построенные по молодым РЗС (Loktin and Popova, 2019; Tarricq et al., 2021; Bobylev and Bajkova, 2022c), мазерам (Rastorguev et al., 2017; Bobylev and Bajkova, 2022d), ОВ-звездам (Bobylev and Bajkova, 2022b), красным гигантам (Eilers et al., 2019; Zhou et al., 2022), классическим цефеидам (Ablimit et al., 2020) и т.д. Наиболее часто кривые вращения строятся по молодым объектам диска. Возрасты РЗС покрывают весь интервал возраста галактического диска ( $\lg T = 6.6\text{--}9.8$ ). Такое богатство данных позволяет предпринять некоторые исследования по эволюции кинематических свойств галактического диска,

\*E-mail: maria.popova@urfu.ru

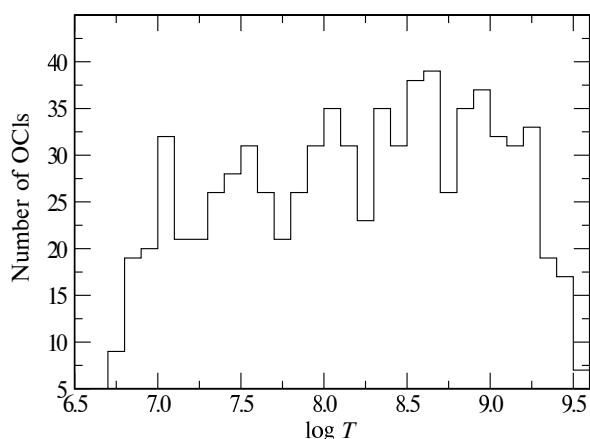


Рис. 1. Частотное распределение возрастов скоплений выборки.

в частности параметров кривой вращения Галактики по объектам разного возраста. Изучению этого вопроса и посвящена данная работа.

## 2. ВЫБОРКА

В работе использованы современные данные о РЗС, собранные в поддерживаемом нами «Однородном каталоге параметров РЗС» (Loktin and Porova, 2017). Каталог был существенно дополнен скоплениями по данным Gaia DR2 (Brown et al., 2018). Текущая версия каталога в настоящее время содержит 1113 рассеянных скоплений. Все расстояния до скоплений оценивались по фотометрическим данным методом совмещения диаграмм «звездная величина — показатель цвета» рассеянных скоплений с изохронами (Girardi et al., 2003; Bressan et al., 2012). Для 794 скоплений каталога есть сведения о лучевой скорости, как из литературных источников, так и по данным из архива Gaia DR2 (Cantat-Gaudin et al., 2020). Все скопления имеют определения собственных движений и могут быть использованы в кинематических исследованиях. Из рассмотрения были исключены 21 РЗС с расстояниями от центра Галактики ближе 6.0 кпк и дальше 13.0 кпк, так как их слишком мало и они имеют не очень надежные данные. Оставшиеся 773 скопления составили используемую в работе выборку.

Рисунок 1 показывает частотное распределение скоплений каталога по логарифмам возраста  $\lg T$ . Большое число РЗС в выборке позволило разделить ее на пять возрастных интервалов, выбранных в соответствии с положением минимумов на гистограмме. В таблице 1 приведены средние значения возраста  $\langle \lg T \rangle$  и количество скоплений  $N$  для каждого интервала.

Лучевые и тангенциальные скорости скоплений были исправлены за движение Солнца. Компоненты движения Солнца взяты из работы Bobylev

Таблица 1. Данные о разбиении используемой выборки РЗС по возрасту,  $N$  — количество скоплений

$\lg T$	$\langle \lg T \rangle$	$N$
$<7.25$	6.99	117
7.25–7.75	7.50	135
7.75–8.25	8.02	144
8.25–8.75	8.51	162
$>8.75$	9.11	215

and Vajkova (2019), в которой они получены по рассеянным звездным скоплениям разных возрастов. Расстояние Солнца от центра Галактики  $R_0$  принято равным 8.32 кпк (Gillessen et al., 2017).

## 3. УГЛОВАЯ СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ ГАЛАКТИКИ В ОКРЕСТНОСТЯХ СОЛНЦА

Угловая скорость вращения Солнца вокруг центра Галактики относительно каждого РЗС оценивалась по положению в Галактике, лучевой скорости и компонентам собственного движения объекта исключением кривой вращения Галактики из формул Боттлингера для лучевой и тангенциальной составляющих скорости (Loktin and Beshenov, 2003):

$$\omega_0 = \frac{v_r(R_0 \cos l - r \cos b)}{(R_0 r \sin l \cos^2 b)} - \frac{v_l}{r \cos b}, \quad (1)$$

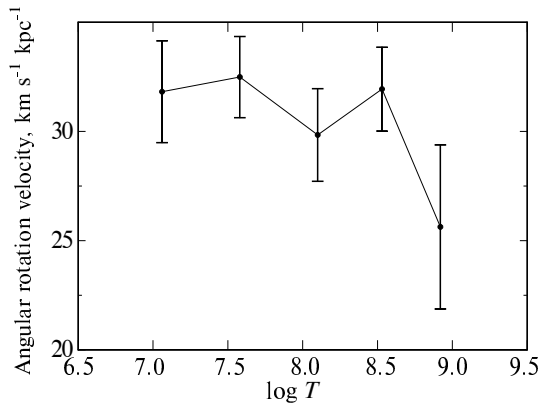
где  $\omega_0$  — угловая скорость вращения Солнца вокруг центра Галактики,  $v_r$  и  $v_l$  — соответственно лучевая и тангенциальная составляющие скорости, исправленные за движение Солнца,  $r$  — гелиоцентрическое расстояние,  $l$  и  $b$  — галактические координаты РЗС.

Средняя угловая скорость вращения Солнца вычислялась отдельно для каждой возрастной группы методом минимизации суммы малых степеней уклонений, описанным в работе Loktin (1990). Эта методика приводит к получению оценок, близких к моде распределения. Рассматривались только РЗС, находящиеся на расстоянии не более 1 кпк от Солнца. При усреднении использовались веса  $P |\sin l|$ , где множитель  $P$  — величина, обратно пропорциональная сумме квадратов ошибок радиальной и тангенциальной компонент скорости. Множитель  $|\sin l|$  компенсирует влияние малого знаменателя в первом слагаемом выражения (1). Мы исключили из выборки двенадцать скоплений, угловые скорости которых резко отклоняются от полученных средних значений  $\omega_0$ , согласно правилу  $3\sigma$ .

Результаты определения  $\omega_0$  для разных возрастных групп РЗС показаны в таблице 2 и на

**Таблица 2.** Средняя угловая скорость вращения Галактики в окрестностях Солнца  $\langle\omega_0\rangle$  для подсистем РЗС разных возрастов. В нижней строчке приведено значение  $\langle\omega_0\rangle$  для всех РЗС с  $\lg T < 8.75$

$\lg T$	$\langle\lg T\rangle$	$\langle\omega_0\rangle$ , км с <sup>-1</sup> кпк <sup>-1</sup>	$N$
$< 7.25$	7.06	$31.82 \pm 2.33$	22
7.25–7.75	7.58	$32.49 \pm 1.86$	33
7.75–8.25	8.10	$29.84 \pm 2.12$	48
8.25–8.75	8.53	$31.94 \pm 1.92$	33
$> 8.75$	8.92	$25.63 \pm 3.76$	26
$< 8.75$		$31.52 \pm 0.58$	136



**Рис. 2.** Средняя угловая скорость вращения Галактики в окрестностях Солнца по данным подсистем РЗС разных возрастов.

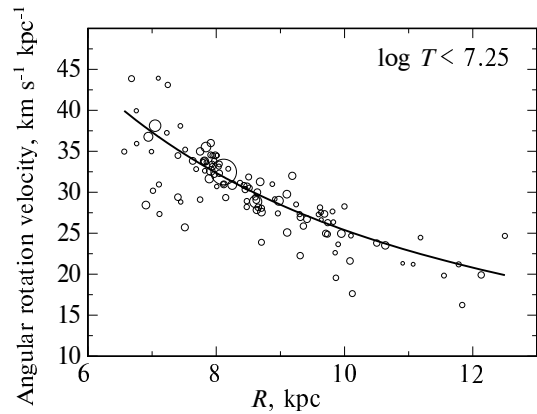
рис. 2. Вертикальные отрезки на рисунке соответствуют барам ошибок средних значений  $\omega_0$ . Видно, что молодые скопления и скопления среднего возраста ( $\lg T < 8.75$ ) вращаются с близкими угловыми скоростями, тогда как самые старые скопления ( $\lg T > 8.75$ ) значительно медленнее вращаются в диске Галактики. В последней строке таблицы 2 приведено среднее значение  $\omega_0$  для всех РЗС моложе 600 млн лет.

Величина средней угловой скорости вращения Галактики в окрестностях Солнца  $\omega_0 = 31.52$ , определенная по данным о молодых РЗС и РЗС среднего возраста, близка соответствующей величине, полученной по цефеидам, мазерным источникам и ОВ2-звездам (Bobylev and Vajkova, 2022a; b; d).

#### 4. КРИВАЯ ВРАЩЕНИЯ ГАЛАКТИКИ

Для каждого интервала возрастов РЗС построена кривая угловых скоростей вращения, которая была приближена полиномом вида:

$$\omega(R) = \frac{A}{R} + \frac{B}{R^2} + \frac{C}{R^3}, \quad (2)$$



**Рис. 3.** Положения самых молодых РЗС ( $\lg T < 7.25$ ) и приближающий полином. Размеры символов соответствуют весам, обратно пропорциональным величинам ошибок компонент скорости.

где  $R$  — расстояние от оси вращения Галактики. Все РЗС учитывались с весами, обратно пропорциональными величинам ошибок компонент скорости. Мы исключили из выборки несколько скоплений (5–8 РЗС для каждого возрастного интервала), угловые скорости которых резко отклоняются от полученных средних значений  $\omega(R)$ , согласно правилу  $3\sigma$ .

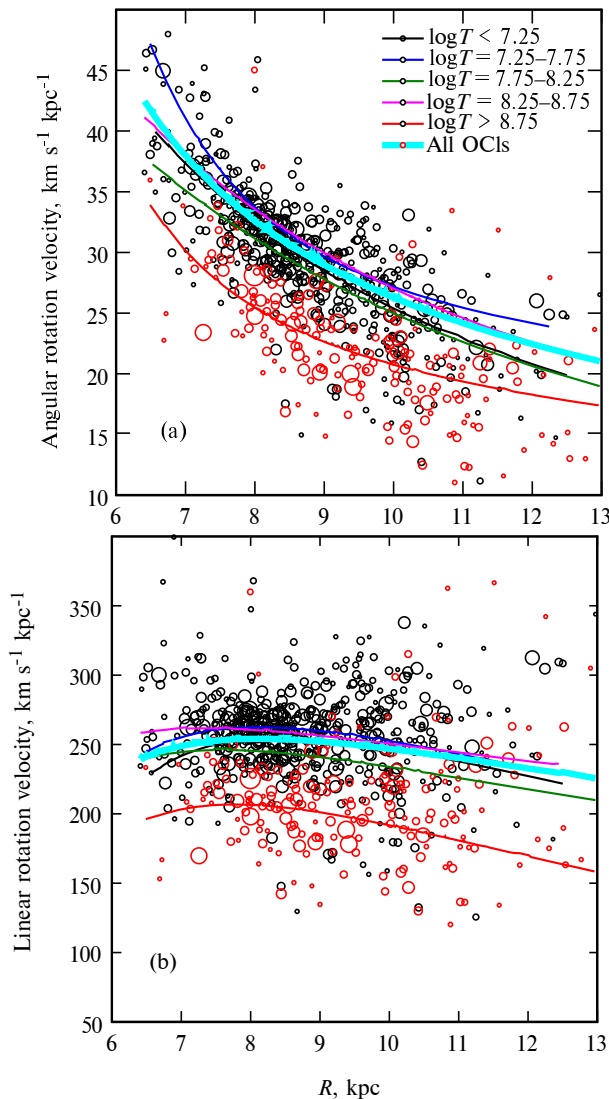
На рис. 3 приведен пример одной из таких кривых для самых молодых РЗС из интервала возрастов  $\lg T = 6.6–7.25$ . Открытыми кружками показаны положения скоплений. Здесь и далее размеры символов соответствуют весам, обратно пропорциональным величинам ошибок компонент скорости. Полученные коэффициенты полинома для всех возрастных интервалов приведены в таблице 3.

Положения всех скоплений выборки показаны на рис. 4, где приведены также кривые угловых (рис. 4a) и линейных (рис. 4b) скоростей. По положению кривых вращения на рисунке видно, что соответствующие молодым скоплениям и скоплениям среднего возраста кривые близки, в то время как кривая вращения, построенная по старым РЗС ( $\lg T > 8.75$ ), расположена заметно ниже.

Разброс величин линейных скоростей для РЗС не старше 600 млн лет (см. рис. 4) составляет около  $20 \text{ км с}^{-1}$ , то есть они близки между собой и можно построить кривую вращения по всей выборке РЗС, исключив самые старые ( $\lg T > 8.75$ ). Полином, приближающий общую кривую угловых скоростей, показан на рис. 4 толстой голубой линией. Коэффициенты приближающего полинома приведены в последней строке таблицы 3.

**Таблица 3.** Коэффициенты полиномов, приближающих кривые угловых скоростей вращения, для разных возрастных интервалов  $\lg T$ . В нижней строчке приведены значения коэффициентов для всех РСЗ с  $\lg T < 8.75$

$\lg T$	A	B	C
$< 7.25$	$215.7 \pm 84.5$	$527.6 \pm 385.5$	$-1458.4 \pm 2768.0$
$7.25-7.75$	$586.0 \pm 26.4$	$-5601.4 \pm 757.4$	$24573.6 \pm 5421.4$
$7.75-8.25$	$204.0 \pm 39.0$	$847.4 \pm 430.8$	$-3889.2 \pm 1888.8$
$8.25-8.75$	$261.1 \pm 57.3$	$226.7 \pm 134.2$	$-1348.8 \pm 780.1$
$> 8.75$	$387.9 \pm 94.6$	$-3125.3 \pm 482.8$	$13211.2 \pm 1345.6$
$< 8.75$	$366.8 \pm 98.6$	$-1813.4 \pm 649.7$	$7738.2 \pm 833.0$



**Рис. 4.** Кривые угловых (а) и линейных (б) скоростей вращения для разных возрастных интервалов РСЗ. Черными кружками показаны положения РСЗ моложе 600 млн лет, красными — старше 600 млн лет. Размеры символов соответствуют весам, обратно пропорциональным величинам ошибок компонентов скорости. Тонкими цветными линиями показаны полиномы, приближающие кривые вращения для принятых возрастных интервалов.

## 5. ЗАВИСИМОСТЬ КОМПОНЕНТ СКОРОСТИ РАССЕЯННЫХ СКОПЛЕНИЙ ОТ ГАЛАКТОЦЕНТРИЧЕСКОГО РАССТОЯНИЯ

По данным о лучевых скоростях и компонентах собственных движений мы имеем возможность исследовать не только тангенциальную  $v_\Theta$  (кривая вращения), но также радиальную  $v_R$  и вертикальную  $v_Z$  компоненты скорости РСЗ в зависимости от галактоцентрического расстояния. Радиальная составляющая скорости направлена радиально от центра Галактики, а вертикальная — на северный полюс Галактики.

Рассматривались только РСЗ, логарифм возраста которых не превышал 8.75. Компоненты скорости были вычислены согласно работе Johnson and Soderblom (1987). Радиальная, тангенциальная и вертикальная компоненты скорости в зависимости от галактоцентрического расстояния  $R$  показаны на рис. 5.

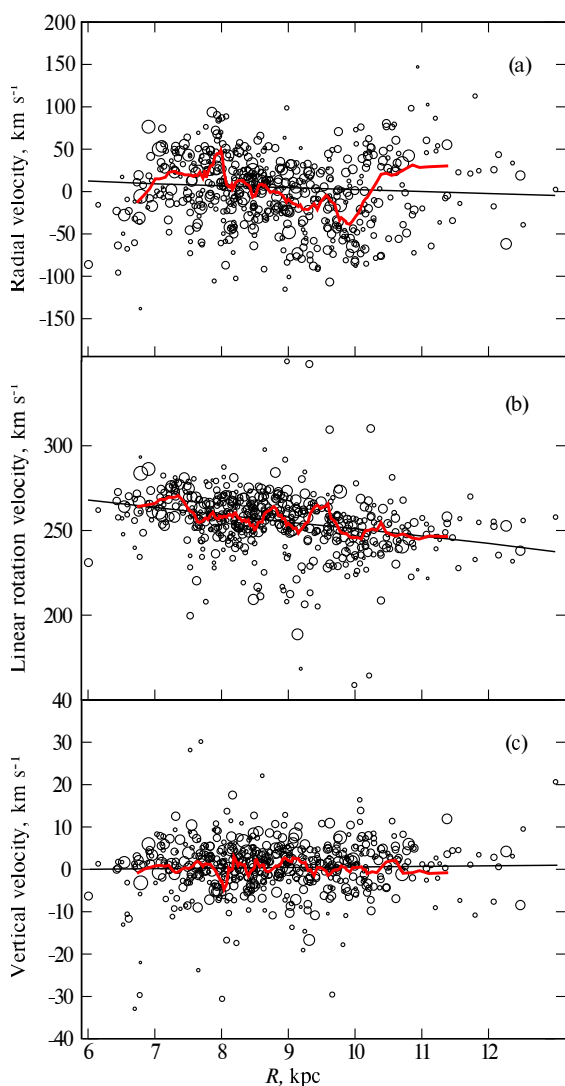
Были вычислены коэффициенты линейной регрессии для радиальной, тангенциальной и вертикальной компонент скорости:

$$v_R = 25.16(\pm 12.49) - 2.29(\pm 1.44)R,$$

$$v_\Theta = 293.01(\pm 4.85) - 4.21(\pm 0.56)R,$$

$$v_Z = -0.41(\pm 2.40) + 0.09(\pm 0.28)R.$$

На рис. 5 линии регрессии показаны сплошными черными прямыми. Проверка статистической значимости наклона линий регрессии согласно таблице распределения Фишера показала его значимость на уровне 95% только для тангенциальной составляющей скорости. Значимость наклона линии регрессии для тангенциальной компоненты скорости говорит об убывающей кривой вращения на всем рассматриваемом интервале расстояний  $R = 6.0-13.0$  кпк, так же, как получено в предыдущем разделе с учетом предположения о чисто круговом движении скоплений. Для радиальной и вертикальной компонент скорости наклоны линий регрессии оказались незначимы.



**Рис. 5.** Зависимость радиальной (а), тангенциальной (b) и вертикальной (с) составляющих скорости от галактоцентрического расстояния. Черные прямые — линии регрессии, красные кривые — результаты усреднения. Открытыми кружками показаны положения скоплений, размеры символов соответствуют весам, указанным выше.

На рис. 5а виден большой разброс положений РЗС от линейной регрессионной модели. Для более детального изучения зависимостей компонент скорости от галактоцентрического расстояния проведено усреднение с применением скользящего среднего. Усреднение проводилось по группам из 30 РЗС с шагом 5 РЗС. Использовались веса, соответствующие качеству данных в каталоге. Результаты усреднения показаны на рис. 5 красными кривыми.

Для тангенциальной и вертикальной компонент скорости не наблюдается существенных отклонений сглаженных кривых от линий регрессии на всем

**Таблица 4.** Данные используемой выборки: интервал галактоцентрических расстояний  $R$ , число скоплений  $N$

$R$ , кпк	6.0–8.0	8.0–9.9	9.9–13.0
$N$	148	299	111

интервале рассматриваемых расстояний в отличие от радиальной компоненты, где видно значительное отклонение сглаженной кривой, близкой к синусоидальной, от линии регрессии. Подобная зависимость была получена в работах Bobylev and Bajkova (2022a; b; d) по ОВ-звездам, цефеидам и мазерам. Чтобы определить значимость этого отклонения, мы разделили все РЗС на три интервала по галактоцентрическим расстояниям  $R$ , соответствующим интервалам возрастания и убывания сглаженной кривой радиальной компоненты скорости. Количество скоплений  $N$  в каждом интервале  $R$  приведено в таблице 4.

На рис. 6 показана радиальная составляющая скорости РЗС.

Для каждого интервала галактоцентрических расстояний были вычислены коэффициенты линейной регрессии:

$$v_{R1} = -203.88(\pm 51.01) + 32.18(\pm 6.85)R,$$

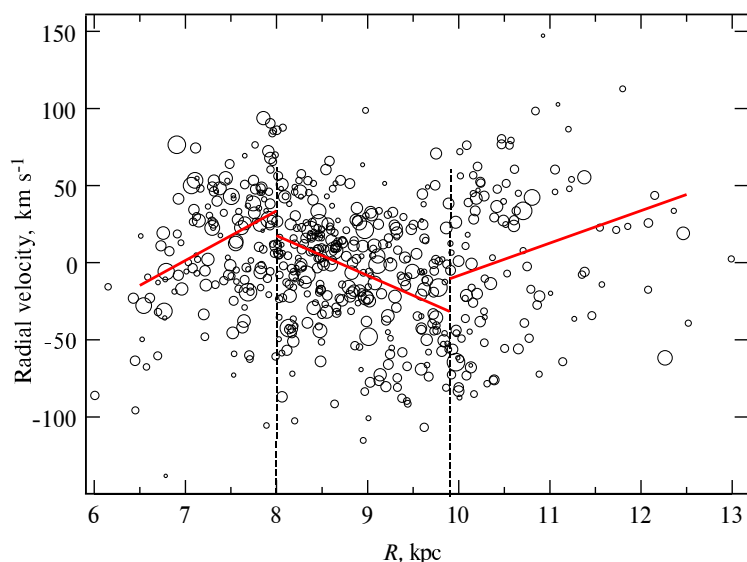
$$v_{R2} = 244.51(\pm 30.75) - 25.87(\pm 3.48)R,$$

$$v_{R3} = -198.73(\pm 74.29) + 21.04(\pm 6.98)R.$$

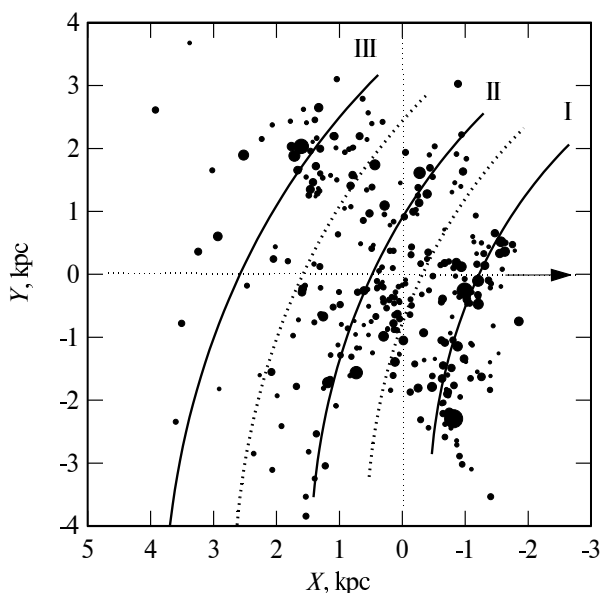
Линии регрессии для трех интервалов галактоцентрических расстояний показаны на рис. 6 красными линиями. По результатам теста согласно таблице распределения Фишера наклон всех трех линий регрессии статистически значим (коэффициенты Фишера 11.34, 40.83 и 17.43 соответственно).

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По улучшенным с помощью данных Gaia оценкам основных параметров РЗС Галактики, собранным в текущей версии «Однородного каталога параметров рассеянных скоплений», исследована зависимость кинематических свойств подсистем РЗС от их возрастов. Получено, что угловая скорость вращения Галактики в окрестностях Солнца практически не меняется для РЗС с возрастом менее 600 млн лет. Средняя угловая скорость вращения, определенная по данным для этих скоплений,  $\omega_0 = 31.52 \pm 0.58 \text{ км с}^{-1} \text{ кпк}^{-1}$ . Для более старых скоплений угловая скорость вращения уменьшается до  $25.63 \pm 3.76 \text{ км с}^{-1} \text{ кпк}^{-1}$ . Так как самые старые РЗС явно выделяются по величине угловой скорости вращения, можно предположить, что наблюдается разделение РЗС на объекты толстого



**Рис. 6.** Зависимость радиальной составляющей скорости от галактоцентрического расстояния. Вертикальные штриховые линии — принятые границы интервалов галактоцентрических расстояний. Красные прямые — линии регрессии. Открытыми кружками показаны положения скоплений.



**Рис. 7.** Положения РЗС с  $\lg T < 8.0$  на плоскости Галактики.

и тонкого диска. То же самое можно сказать и о кривых вращения Галактики на интервалах галактоцентрических расстояний от 6.0 до 13.0 кпк, в том смысле, что старые РЗС ( $\lg T < 8.75$ ) вращаются заметно медленнее. Последнее, вероятно, говорит о нестационарности диска Галактики.

По распределению компонент скорости не выявлено зависимости вертикальной составляющей скорости от галактоцентрического расстояния. Тангенциальная компонента скорости показывает монотонное убывание с увеличением  $R$  на интерва-

ле от 6.0 до 13.0 кпк. Подобное плавное снижение кривой вращения с увеличением галактоцентрического расстояния получено в работах Eilers et al. (2019) по красным гигантам и Ablimit et al. (2020) по классическим цефеидам.

Радиальная компонента скорости показывает распределение, близкое к синусоидальному, вдоль радиуса диска Галактики, что может говорить о нестационарности диска.

На рис. 7 показаны положения РЗС с  $\lg T < 8.0$  на плоскости Галактики. Направление на центр Галактики указано стрелкой. Солнце находится в точке с координатами (0; 0). Размеры символов соответствуют указанным выше весам. Сплошные линии показывают положения спиральных рукавов Галактики — рукав Киля—Стрельца (I), Ориона (II) и Персея (III), полученные по молодым РЗС (Pорова and Loktin, 2005). Пунктирными линиями отмечены границы интервалов, показанные на рис. 6. Границы интервалов (галактоцентрические расстояния, где радиальная компонента скорости максимальна по модулю) проходят именно между положениями спиральных рукавов Галактики.

Можно предположить, что полученные значимые колебания радиальных скоростей вызваны возмущениями от спиральной волны плотности.

Это лишь часть всех действующих эффектов. В рассмотренном интервале галактоцентрических расстояний, возможно, имеет место и передача углового момента от галактического бара (при  $R < R_0$ ) и от внешних областей Галактики (при  $R > R_0$ ) — карликовые галактики Местной группы, БМО, ММО, падающие межгалактические шаровые скопления, газо-пылевые облака.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает искреннюю благодарность анонимным рецензентам за ценные замечания, позволившие улучшить рукопись. Автор также признателен д.ф.-м.н. В. М. Данилову за полезное обсуждение результатов.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема № FEUZ-2023-0019.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- I. Ablimit, G. Zhao, C. Flynn, and S. A. Bird, *Astrophys. J.* **895** (1), id. L12 (2020).
- V. V. Bobylev and A. T. Bajkova, *Astronomy Letters* **45** (4), 208 (2019).
- V. V. Bobylev and A. T. Bajkova, *Astronomy Reports* **66** (7), 545 (2022a).
- V. V. Bobylev and A. T. Bajkova, *Astronomy Letters* **48** (3), 169 (2022b).
- V. V. Bobylev and A. T. Bajkova, *Astronomy Letters* **48** (1), 9 (2022c).
- V. V. Bobylev and A. T. Bajkova, *Astronomy Letters* **48** (7), 376 (2022d).
- A. Bressan, P. Marigo, L. Girardi, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **427** (1), 127 (2012).
- A. G. A. Brown et al. (Gaia Collab.), *Astron. and Astrophys.* **616**, A1 (2018).
- T. Cantat-Gaudin, F. Anders, A. Castro-Ginard, et al., *Astron. and Astrophys.* **640**, id. A1 (2020).
- A.-C. Eilers, D. W. Hogg, H.-W. Rix, and M. K. Ness, *Astrophys. J.* **871** (1), article id. 120 (2019).
- S. Gillessen, P. M. Plewa, F. Eisenhauer, et al., *Astrophys. J.* **837** (1), article id. 30 (2017).
- L. Girardi, G. Bertelli, A. Bressan, et al., *Memorie della Società Astronomica Italiana* **74**, 474 (2003).
- D. R. H. Johnson and D. R. Soderblom, *Astron. J.* **93**, 864 (1987).
- A. V. Loktin, *Bulletin d'Information du Centre de Données Stellaires* **38**, 115 (1990).
- A. V. Loktin and G. V. Beshenov, *Astronomy Reports* **47** (1), 6 (2003).
- A. V. Loktin and M. E. Popova, *Astrophysical Bulletin* **72** (3), 257 (2017).
- A. V. Loktin and M. E. Popova, *Astrophysical Bulletin* **74** (3), 270 (2019).
- M. E. Popova and A. V. Loktin, *Astronomy Letters* **31** (3), 171 (2005).
- A. S. Rastorguev, N. D. Utkin, M. V. Zabolotskikh, et al., *Astrophysical Bulletin* **72** (2), 122 (2017).
- Y. Tarricq, C. Soubiran, L. Casamiquela, et al., *Astron. and Astrophys.* **647**, id. A19 (2021).
- H.-F. Wang, Ž. Chrobáková, M. López-Corredoira, and F. Sylos Labini, *Astrophys. J.* **942** (1), id. 12 (2023).
- Y. Zhou, X. Li, Y. Huang, and H. Zhang, *arXiv e-prints astro-ph/2212.10393* (2022).
- Z. Zhu, *Research Astron. and Astrophys.* **9** (12), 1285 (2009).

## Kinematics of the Galactic disk based on Open Cluster Data

M. E. Popova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kourovka Astronomical Observatory of Ural Federal University, Yekaterinburg, 620083 Russia

We study the dependence of the kinematic properties of the subsystems of Galactic open clusters on their ages. It was found that the angular velocity of Galactic rotation in the solar vicinity decreases to  $25.6 \text{ km s}^{-1} \text{ kpc}^{-1}$  for clusters older than 600 Myrs. According to the rotation curves of the Galaxy for different age intervals at a galactocentric distance of 6.0 to 13.0 kpc, it is found that older open clusters rotate much more slowly than young and middle-aged clusters. The rotation curve decreases with increasing galactocentric distance in the entire distance interval under consideration. We can observe the separation of open clusters into thick and thin disk objects. A near-sinusoidal dependence of the radial cluster velocity component on galactocentric distance is obtained for distances ranging from 6.0 to 13.0 kpc. No dependence of the vertical velocity component on galactocentric distance is found.

Keywords: *Galaxy: kinematics and dynamics, open clusters and associations: general*