

КИНЕМАТИКА ДИСКА ГАЛАКТИКИ ПО ДАННЫМ О РАССЕЯННЫХ ЗВЕЗДНЫХ СКОПЛЕНИЯХ

М. Э. Попова

Уральский федеральный университет

Исследована зависимость кинематических свойств подсистем рассеянных скоплений Галактики от их возрастов. Получено, что частота вращения Галактики в окрестностях Солнца уменьшается от 25 до 20 км/с/кпк для интервала возраста $\log T$ от 6.6 до 9.8. Не наблюдается разделения рассеянных скоплений на объекты толстого и тонкого дисков. По кривым вращения Галактики для разных возрастных интервалов на галактоцентрическом расстоянии от 6.5 до 12.5 кпк получено, что более старые РЗС вращаются медленнее, чем молодые, и показывают большую среднюю дисперсию остаточных скоростей.

THE GALAXY DISK KINEMATICS BASED ON OPEN STAR CLUSTER DATA

M. E. Popova

Ural Federal University

The dependence of the kinematic properties versus ages of open star cluster subsystems has been investigated. It was found that the angular velocity of the Galactic disk in the solar vicinity decreased from 25 to 20 km/s/kpc for the age interval $\log T$ from 6.6 to 9.8. No segregation of open clusters into thick and thin disks was revealed. Based on the rotation curves of the Galaxy constructed for different age intervals at galactocentric distances from 6.5 to 12.5 kpc, it was received that older open star clusters rotate slower than younger ones and show a larger mean dispersion of residual velocities.

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. Эволюционные процессы должны проявляться и в кинематических характеристиках подсистем диска Галактики, в частности, рассеянных звездных скоплений (далее — РЗС). Целью работы было нахождение зависимости кинематических свойств объектов от их возраста.

Выборка

В работе использованы современные данные о РЗС, собранные в «Однородном каталоге параметров РЗС» [1], существенно дополненном скоплениями по данным Gaia [2]; 794 скопления каталога имеют лучевые скорости, как выбранные из литературы, так и полученные по данным Gaia DR2 [3]. Все скопления имеют определения собственных движений и могут быть использованы в кинематических исследованиях.

Большое число РЗС в выборке позволило разделить выборку на шесть возрастных интервалов. Данные интервалов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Данные используемой выборки

Интервал возраста	Средний возраст	Количество скоплений
6.6–7.0	6.85	53
7.0–7.5	7.24	129
7.5–8.0	7.74	135
8.0–8.5	8.24	154
8.5–9.0	8.74	176
9.0–9.8	9.25	147

Лучевые и тангенциальные скорости скоплений были исправлены за движение Солнца. Компоненты движения Солнца, полученные по данным о молодых объектах диска [4], принимались равными $U_0 = 11.1$ км/с, $V_0 = 15.1$ км/с, $W_0 = 7.1$ км/с. Расстояние Солнца от центра Галактики R_0 принято равным 8.32 кпк [5]. Из рассмотрения исключены семь скоплений с экстремальными расстояниями от центра Галактики (ближе 5.0 и дальше 15.0 кпк).

Угловая скорость вращения Галактики в окрестностях Солнца

Угловая скорость вращения Солнца вокруг центра Галактики относительно каждого РЗС оценивалась исключением кривой вращения Галактики из формул Боттлингера для лучевой и тангенциальной составляющих скорости [6]:

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

где ω_0 — угловая скорость Солнца вокруг центра Галактики; V_r , V_l — лучевая и тангенциальная составляющие скорости, исправленные за движение Солнца; r — гелиоцентрическое расстояние; l , b — галактические координаты РЗС. Рассматривались только РЗС, находящиеся на расстоянии не более 1 кпк от Солнца.

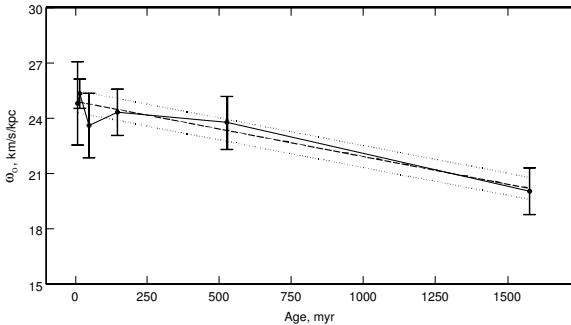


Рис. 1. Зависимость частоты вращения от среднего возраста подсистем РЗС околосолнечной окрестности

Средняя угловая скорость вращения Солнца вычислялась отдельно для каждой

Таблица 2. Коэффициенты кривых вращения для разных возрастных интервалов

Интервал возраста	A	B	C	σ
6.6–7.0	-233.6	6902.0	-26430.0	1.54
7.0–7.5	165.6	143.0	1900.0	2.07
7.5–8.0	42.5	2012.0	-6270.0	2.44
8.0–8.5	-13.3	2854.0	-9030.0	2.21
8.5–9.0	-32.1	3226.0	-10900.0	2.49
9.0–9.8	-62.6	3501.0	-13378.0	3.06
РЗС всех возрастов	-16.9	3121.0	-10450.0	—

возрастной группы методом минимизации суммы малых степеней уклонений [7]. При усреднении использовались веса $p = |\sin l|$, компенсирующие влияние малого знаменателя в первом слагаемом. Результаты определения ω_0 для разных возрастных групп показаны на рис. 1. Из рисунка видно, что частота вращения ω_0 убывает с возрастом РЗС. Штриховой линией показана линия регрессии $\omega_0 = 24.92 - 0.0030T$ со стандартными ошибками коэффициентов 0.31 и 0.0004, пунктирными линиями показан коридор ошибок.

Кривая вращения Галактики

Для каждого интервала возрастов РЗС была построена кривая угловых скоростей вращения, приближенная полиномом вида

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

где R — расстояние от оси вращения Галактики. Полученные коэффициенты полинома для всех возрастных интервалов приведены в табл. 2. В последней колонке — средняя дисперсия σ остаточных скоростей РЗС.

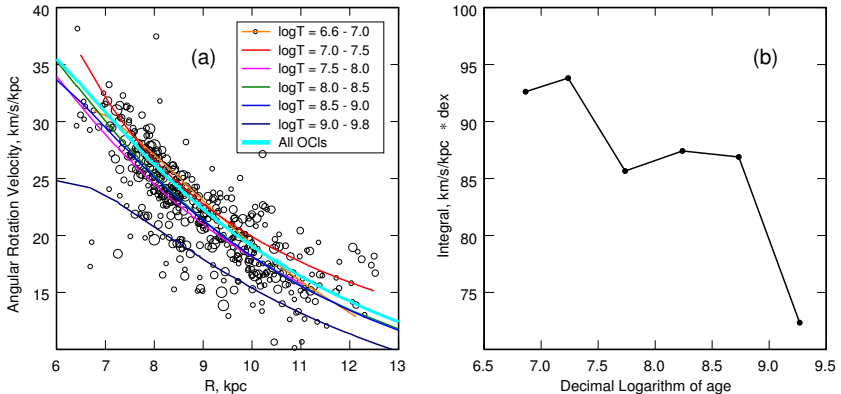


Рис. 2. Положения РЗС и приближающие полиномы (кривые частот вращения) для разных возрастных групп РЗС (a). Площади под кривыми вращения для разных возрастных групп РЗС (b)

На рис. 2, *a* тонкими цветными линиями показаны полиномы, приближающие кривые вращения, для принятых возрастных интервалов. Полином, приближающий кривую вращения по всей выборке РЗС, показан на рисунке толстой кривой. Из расположения кривых вращения можно предположить, что кривые, соответствующие более молодым возрастным подгруппам, расположены выше более старых.

Для объективности были вычислены площади под всеми кривыми вращения, — взяты определенные интегралы по интервалу галактоцентрического расстояния от 6.5 до 12.5 кпк. Значения интегралов в зависимости от средних возрастов групп РЗС показаны на рис. 2, *b*. Сравнение с рис. 1 показывает, что так же, как и для случая величин ω_0 (относящихся к ближайшим окрестностям Солнца), кривые вращения, относящиеся к указанному интервалу, иллюстрируют ту же зависимость скорости вращения от возрастов объектов диска. Средняя дисперсия остаточных скоростей увеличивается с увеличением возраста (табл. 2).

Заключение

По улучшенным с помощью данных Gaia оценкам основных параметров РЗС Галактики, собранных в текущей версии «Однородного каталога параметров рассеянных скоплений», исследована зависимость кинематических свойств подсистем РЗС от их возрастов. Для 794 РЗС, разделенных на шесть возрастных групп, получено, что частота вращения Галактики в окрестностях Солнца уменьшается от 25 до 20 км/с/кпк для рассмотренного интервала возрастов $\log T$ от 6.6 до 9.8. При этом ни один из рассмотренных возрастных интервалов, включая самые старые РЗС, не выделяется, так что разделение РЗС на объекты толстого и тонкого диска незаметно. То же самое можно сказать о кривых вращения Галактики на интервалах R от 6.5 до 12.5 кпк в том смысле, что более старые РЗС вращаются несколько медленнее, чем молодые, что, вероятно, говорит о нестационарности диска Галактики.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема FEUZ-2020-0030.

Библиографические ссылки

- [1] *Loktin A. V., Popova M. E.* Updated version of the ‘homogeneous catalog of open cluster parameters’ // *Astrophysical Bulletin*. — 2017. — Vol. 72, № 3. — P. 257–265.
- [2] *Gaia Collaboration, Brown A. G. A., Vallenari A. et al.* Gaia Data Release 2. Summary of the contents and survey properties // *Astron. Astrophys.* — 2018. — Vol. 616. — P. A1. 1804.09365.
- [3] *Cantat-Gaudin T., Jordi C., Vallenari A. et al.* VizieR Online Data Catalog: Gaia DR2 open clusters in the Milky Way (Cantat-Gaudin+, 2018) // *VizieR Online Data Catalog*. — 2018. — Vol. 361.
- [4] *Popova M. E.* Peculiarity of stellar kinematics in the solar vicinity // *Astronomische Nachrichten*. — 2013. — Vol. 334. — P. 756–759.
- [5] *Gillessen S., Plewa P. M., Eisenhauer F. et al.* An Update on Monitoring Stellar Orbits in the Galactic Center // *Astrophys. J.* — 2017. — Vol. 837, № 1. — P. 30. 1611.09144.
- [6] *Loktin A. V., Beshenov G. V.* Proper Motions of Open Star Clusters and the Rotation Rate of the Galaxy // *Astronomy Reports*. — 2003. — Vol. 47. — P. 6–10.
- [7] *Loktin A. V.* Minimization of the small powers of deviations as one of the robust methods // *Bulletin d’Information du Centre de Donnees Stellaires*. — 1990. — Vol. 38. — P. 115.