

УДК 524.74-32

КИНЕМАТИКА РАССЕЯННЫХ СКОПЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ НОВОЙ ВЕРСИИ «ОДНОРОДНОГО КАТАЛОГА ПАРАМЕТРОВ РАССЕЯННЫХ СКОПЛЕНИЙ»

© 2019 А. В. Локтин^{1*}, М. Э. Попова^{1**}¹ Коуровская астрономическая обсерватория, Уральский федеральный университет, Екатеринбург, 620000 Россия

Поступила в редакцию 23 апреля 2018 года; после доработки 8 июля 2019 года; принята к публикации 8 июля 2019 года

На основе данных о рассеянных скоплениях из текущей версии «Однородного каталога параметров рассеянных звездных скоплений» и данных каталога Gaia DR2 исследованы некоторые вопросы кинематики диска Галактики. По данным о лучевых скоростях и собственных движениях скоплений определена угловая скорость вращения Солнца в Галактике $\Omega_0 = 25.6 \pm 1.2 \text{ км с}^{-1} \text{ кпк}^{-1}$. Построено новое приближение кривой вращения Галактики полиномом по обратным степеням галактоцентрических расстояний. Рассмотрено влияние спиральных волн плотности на сглаженное поле скоростей диска Галактики. По радиальным зависимостям компонент остаточных пространственных скоростей скоплений получены оценки радиальной $f_R = 4.6 \pm 0.7 \text{ км с}^{-1}$ и тангенциальной $f_\theta = 1.1 \pm 0.4 \text{ км с}^{-1}$ амплитуды искажения поля скоростей.

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

1. ВВЕДЕНИЕ

Одной из нерешенных задач кинематики галактического диска является степень влияния спиральной волны плотности на поле скоростей объектов диска Галактики. В настоящей работе мы делаем попытку прояснить этот вопрос путем исследования остаточных скоростей этих объектов, используя обновленную версию «Однородного каталога параметров рассеянных звездных скоплений» [1], содержащую существенный объем данных о кинематике рассеянных звездных скоплений (РЗС) и данные каталога Gaia DR2 [2]. Для получения остаточных скоростей в первой части работы мы определяем угловую скорость вращения Солнца в Галактике и получаем новую оценку кривой вращения Галактики. В работе авторов [3] на основе предыдущей версии «Однородного каталога параметров рассеянных звездных скоплений» на базе материала о 196 рассеянных звездных скоплениях с определенными лучевыми скоростями и собственными движениями получено приближение кривой вращения Галактики полиномом по обратным степеням расстояния от центра Галактики. Однако, до сих пор на больших и малых расстояниях от центра Галактики кривая вращения проводится ненадежно, значительное увеличение выборки

РЗС позволит несколько уменьшить эту ненадежность. Во второй части работы мы рассматриваем отклонения движения РЗС от сглаженного поля скоростей в диске Галактики, в частности, делаем попытку исследовать влияние спиральной волны плотности на движение РЗС.

2. ВЫБОРКА

Мы рассматриваем 1035 скоплений из новой версии «Однородного каталога параметров рассеянных звездных скоплений» [1]. У 522 из них имеются оценки лучевых скоростей, в том числе и определенные нами как средние для вероятных членов РЗС по данным четвертого релиза каталога RAVE [4]. Сведения о собственных движениях для 678 скоплений взяты из каталога [5], основанного на базе данных Gaia.

3. УГЛОВАЯ СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ СОЛНЦА В ГАЛАКТИКЕ

По скоплениям с известными величинами как лучевых скоростей, так и собственных движений, можно определить угловую скорость вращения Солнца в Галактике. Методика оценки угловых скоростей вращения для отдельно взятых РЗС была описана в работе [6]. Угловая скорость вращения Солнца Ω_0 определялась непосредственно

*E-mail: alexander.loktin@urfu.ru

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

по формулам Боттлингера исключением угловой скорости вращения объектов диска:

$$\Omega_0 = \frac{V_r R_0 \cos l - V_r r - V_l R_0 \sin l}{R_0 r \sin l \cos b}, \quad (1)$$

где V_r — лучевая скорость объекта диска, $V_l = 4.74r\mu_l \cos b$ — компонента скорости объекта вдоль галактической долготы, μ_l — соответствующая компонента собственного движения, r — гелиоцентрическое расстояние объекта. За расстояние Солнца от центра Галактики принималась величина $R_0 = 8.3$ кпк [7].

По 137 РЗС с наиболее надежными данными мы получили оценку $\Omega_0 = 25.6 \pm 1.2$ км с⁻¹ кпк⁻¹. Оценка получена как положение моды распределения индивидуальных оценок угловой скорости вращения РЗС. Здесь и ниже величины лучевых скоростей и собственных движений исправлены за движение Солнца в пространстве с компонентами $U_0 = 11.1$ км с⁻¹, $V_0 = 15.1$ км с⁻¹, $W_0 = 7.1$ км с⁻¹ согласно нашей работе [8].

4. КРИВАЯ ВРАЩЕНИЯ

Кривая вращения является основной функцией, описывающей кинематические свойства дифференциально вращающегося диска Галактики, и определяется из наблюдательных данных. Так как до сих пор кривая вращения проводится недостаточно уверенно (см., например, [9]), мы решили для ее определения использовать наши обновленные данные о РЗС [1]. Кривая вращения естественным образом определяется из формул Боттлингера для наблюдаемых значений лучевых скоростей и собственных движений объектов, составляющих галактический диск. При этом учитывались выводы работы Локтина и Поповой [10], в которой была проведена серия статистических экспериментов, показывающих влияние различных источников ошибок на получаемую кривую вращения.

Расстояния и собственные движения РЗС выборки были исправлены за влияние случайных ошибок. Исправление расстояний от Солнца проводилось приближенным методом, изложенным в работе Фиста и Шаттлверта [11], где на основе подхода Шварцшильда выведена формула для исправляющих множителей:

$$r' = r \exp(-k S_{\text{mod}}). \quad (2)$$

Здесь r и r' — расстояния от Солнца до и после исправления. S_{mod} — среднее значение ошибки модулей расстояний скоплений выборки, взято из работы Локтина и Поповой [1] и равно $0^{\text{m}}288$,

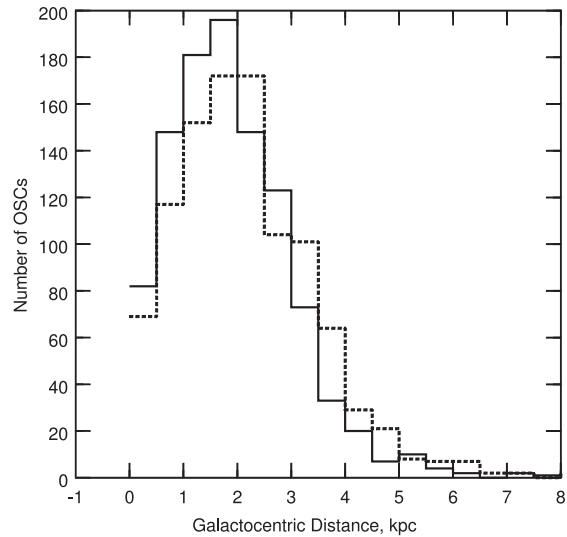


Рис. 1. Частотные распределения галактоцентрических расстояний скоплений выборки до (штриховая линия) и после исправления (сплошная) за влияние случайных ошибок.

а коэффициент $k = \frac{\ln 10}{5}$. Важность такой процедуры можно видеть при сравнении средних значений расстояний скоплений каталога от Солнца до и после введения поправок, соответственно 2.256 ± 0.044 кпк и 1.975 ± 0.039 кпк. Наглядно результат учета случайных ошибок демонстрирует рис. 1, где приведены частотные распределения расстояний скоплений выборки до (штриховая линия) и после исправления (сплошная). Ясно видно уширение распределения расстояний, являющегося сверткой истинного распределения расстояний с распределением ошибок этих расстояний.

Собственные движения также исправлялись за влияние случайных ошибок. Наблюдаемые компоненты собственного движения умножались на приближенные исправляющие множители:

$$\mu' = \mu \frac{\mu^2}{\mu^2 + s\mu^2}, \quad (3)$$

где μ и μ' — компонента собственного движения по прямому восхождению или склонению до и после исправления, $s\mu$ — ее ошибка. Формула действует для случая нормального распределения собственных движений и их ошибок. Она следует из того факта, что свертка двух нормальных распределений является также нормальным распределением с дисперсией, равной сумме дисперсий двух исходных распределений. Очевидно, что для подавляющего числа РЗС исправляющий множитель в выражении (3) будет мало отличаться от единицы в связи с высокой точностью оценок собственных

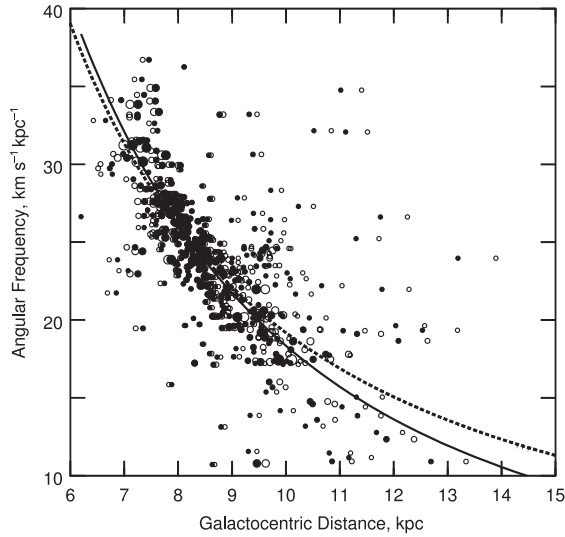


Рис. 2. Кривые вращения Галактики, полученные по лучевым скоростям РЗС выборки, без исправления расстояний за случайные ошибки (штриховая линия, пустые кружки) и с внесением поправок (сплошная линия, заполненные кружки).

движений Gaia. Тем не менее, мы ввели эти поправки для полноты картины.

Как и в работе [3], мы приближали кривую вращения $\Omega = \Omega(R)$ полиномом по обратным степеням расстояний от центра Галактики R :

$$\Omega = \frac{A}{R} + \frac{B}{R^2} + \frac{C}{R^3} \quad (4)$$

Коэффициенты полинома 3-й степени в выражении (4) определялись по нашей выборке методом наименьших квадратов с использованием приведенных в нашем каталоге весов, что необходимо для учета неравноточности данных. При этом скопления с очень низкими весами исключались.

На рис. 2 показаны кривые вращения, определенные по лучевым скоростям РЗС выборки без исправления расстояний РЗС за случайные ошибки (штриховая линия) и с использованием исправления по формуле (2) (сплошная линия). Пустые кружки представляют собой оценки индивидуальных значений частоты вращения для каждого РЗС до статистического исправления, заполненные кружки — после него. Размер символов на рисунке пропорционален весу, основанному на оценке качества параметров каждого РЗС выборки. На рисунке видны определенные различия полученных кривых вращения для двух случаев.

На рис. 3 приведены кривые вращения, полученные по собственным движениям скоплений

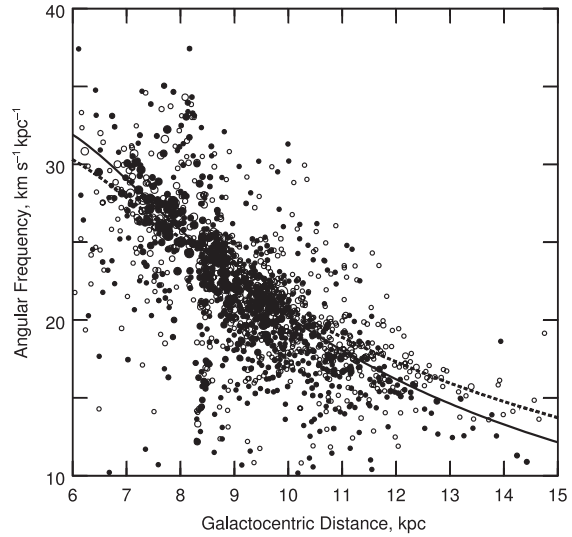


Рис. 3. То же, что на рис. 2, по собственным движениям РЗС выборки.

выборки. Штриховой линией показана кривая вращения на основе неисправленных данных, сплошной — после исправления расстояний и собственных движений за влияние случайных ошибок по формулам (2) и (3). Разница между двумя кривыми вращения, построенной по лучевым скоростям. Заметим, что при получении всех решений для кривой вращения наиболее отклоняющиеся от кривых точки (правило 3σ) из выборки удалялись.

В таблице 1 приведены коэффициенты полиномов (4) для решения по лучевым скоростям и по собственным движениям для выборок объемом N . При получении коэффициентов в модули расстояний и собственные движения были введены статистические поправки. В третьей строке таблицы приведены средневзвешенные значения коэффициентов, веса определялись как обратные величины к выборочным дисперсиям точек для этих двух выборок.

На рис. 4 приведены индивидуальные значения частот вращения скоплений выборки и приближающие полиномы из таблицы 1. Чтобы не загромождать рисунки, мы не привели коридоры ошибок функций, которые легко построить с помощью ошибок коэффициентов и среднеквадратичных отклонений точек, которые равны $6.21 \text{ км с}^{-1} \text{ кпк}^{-1}$ для лучевых скоростей и $6.16 \text{ км с}^{-1} \text{ кпк}^{-1}$ для собственных движений.

Определенный выше полином можно сравнить с кривой вращения, полученной в 2017 году Рюссей [12] по наблюдениям межзвездного газа. На

Таблица 1. Коэффициенты полиномов кривой вращения Галактики (4)

| Данные | N | A | B | C |
|--------------------------|-----|-----------------|--------------------|----------------------|
| по лучевым скоростям | 427 | 37.8 ± 52.4 | 2053.3 ± 893.0 | -5003.3 ± 3804.0 |
| по собственным движениям | 628 | 67.7 ± 13.3 | 2222.2 ± 233.0 | -8464.7 ± 1009.2 |
| Средневзвешенное | | 61.6 ± 12.1 | 2187.2 ± 68.4 | -7738.9 ± 1409.0 |

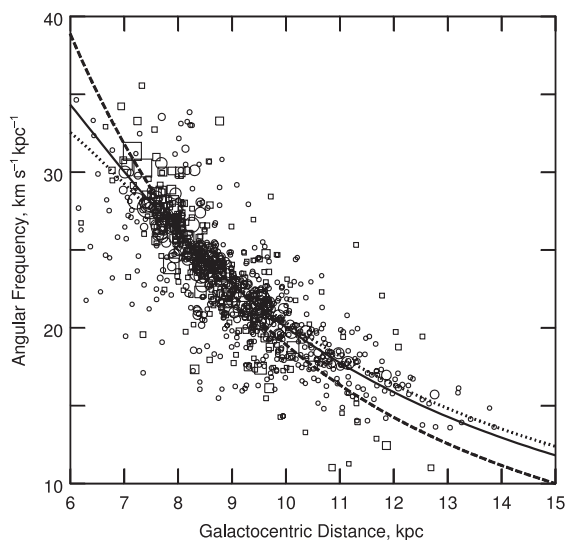


Рис. 4. Частоты вращения отдельных скоплений выборки (пустые квадраты — определения по лучевым скоростям, пустые кружки — по собственным движениям, размер символа пропорционален весу данных) и приближающие полиномы. Сплошной линией показана средневзвешенная кривая вращения Галактики, пунктирной линией — кривая вращения, полученная по собственным движениям, штриховой — по лучевым скоростям.

рис. 5 показано сравнение нашей кривой вращения, полученной для исправленных за влияние случайных ошибок расстояний, с кривой из работы Рюссей [12]. На рисунке кривая вращения Рюссей была сдвинута по вертикали для учета разности использованных величин угловой скорости вращения Солнца. Различие кривых, построенных по разным исходным данным, очень незначительно, несколько увеличивается к краям рассматриваемого интервала расстояний от центра Галактики, где количество РЗС мало и данные для них ненадежны.

5. ВЛИЯНИЕ СПИРАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ НА ПОЛЕ СКОРОСТЕЙ ОБЪЕКТОВ ДИСКА ГАЛАКТИКИ

Полученная выше сглаженная кривая вращения позволяет исследовать крупномасштабные отклонения поля скоростей в диске Галактики от поля

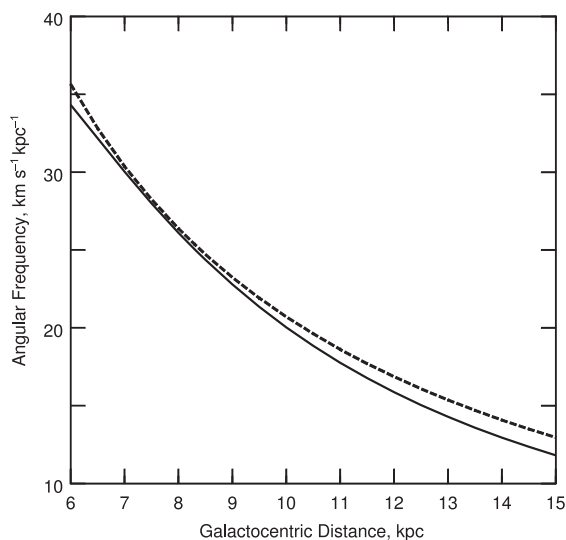


Рис. 5. Сравнение полученной нами кривой вращения Галактики (сплошная линия) с кривой вращения из работы Рюссей [12] (штриховая линия). Кривая вращения Рюссей сдвинута по вертикали для учета разности использованных величин угловой скорости вращения Солнца.

круговых вращательных движений. Такие отклонения могут быть вызваны как внешними факторами (влияние ближайших галактик), так и внутренними (спиральные волны плотности, относительные движения звездных комплексов, изгибные колебания галактического диска).

Рассмотрим возможное влияние спиральных волн плотности на движение скоплений выборки. Из возможных способов такого анализа мы выбрали следующий. Мы выделили скопления, лежащие в достаточно узком интервале вокруг проходящей через Солнце линии центр—антицентр Галактики, в частности в интервале галактоцентрических углов $\pm 5^\circ$, и отклоняющиеся не более чем на 0.5 кпк от галактической плоскости. Такой подход позволяет считать расстояния РЗС данного спирального рукава от центра Галактики одинаковыми, несмотря на ненулевой угол закрутки рукавов.

На рис. 6 показаны скопления выборки, име-

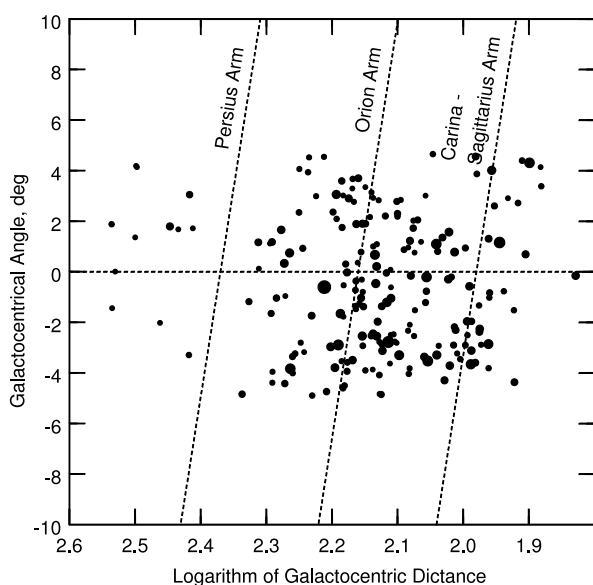


Рис. 6. Скопления выборки из интервала галактоцентрических углов $\pm 5^\circ$, имеющие одновременно данные о лучевых скоростях и собственных движениях, в проекции на плоскость Галактики. Штриховыми линиями отмечены положения обычно выделяемых отрезков спиральной структуры, полученные по молодым рассеянными скоплениям.

ющие одновременно данные о лучевых скоростях и собственных движениях, в проекции на плоскость Галактики в координатах $\ln R-\theta$, где θ — галактоцентрический угол. График удобен тем, что в этих координатах хорошо приближаемые логарифмической спиралью отрезки спиральной структуры превращаются в отрезки прямых. Отрезки спиральной структуры здесь просматриваются плохо, так как в выборке не сделан отбор самых молодых скоплений и узок интервал галактоцентрических углов (хорошо выделяющиеся отрезки спиральной структуры по данным нашего каталога показаны в работе [1]). Штриховыми линиями отмечены положения обычно выделяемых отрезков спиральной структуры, полученные по молодым рассеянными скоплениям [13].

Для скоплений выборки, имеющих одновременно и оценки лучевых скоростей и собственных движений, вычислялись компоненты остаточной пространственной скорости в цилиндрической галактоцентрической системе координат (V_R , V_θ , V_Z). Влияние спиральной волны плотности должно проявиться на сглаженных зависимостях компонент скоростей от галактоцентрического расстояния.

Соответствующие компоненты зависимости сглаживались путем вычисления средневзвешенных значений последовательно для каждых 30 значений по расстоянию от центра Галактики с последующим сдвигом на 5 точек. Такой способ является необходимым вследствие большой

неравноточности исходных данных и космической дисперсии.

На панелях рис. 7 приведены зависимости трех компонент пространственной скорости РЗС от расстояния от центра Галактики. Указанные на графике интервалы ошибок соответствуют оценкам дисперсий средневзвешенных значений. Штриховыми линиями, как на предыдущем рисунке, отмечены положения известных отрезков спиральных рукавов. На рис. 7а приведена зависимость радиальной компоненты V_R от галактоцентрического расстояния. Видна явная неравномерность приведенной зависимости, при этом точной связи экстремумов с положениями спиральных рукавов не наблюдается. С другой стороны, максимум остаточной скорости расположен вблизи положения ветви Киля-Стрельца. Положение ветви Ориона характеризуется остаточными скоростями, близкими к нулю, что и должно быть в случае, если радиус коротации находится вблизи круга Солнца. К сожалению, мы ничего не можем сказать об области ветви Персея, так как в нашей выборке число скоплений, попадающих в эту область, незначительно.

На рис. 7b приведена зависимость тангенциальной компоненты V_θ от галактоцентрического расстояния. Здесь также наблюдается неравномерность средних остаточных скоростей РЗС, при этом имеется приблизительно такое же соответствие положений экстремумов графика со спиральными ветвями: ветвь Ориона расположена вблизи ноля остаточной скорости, а ветвь Киля-Стрельца вблизи максимума. На рис. 7c показаны усредненные вертикальные компоненты остаточной скорости. Как и ожидалось, совпадение положений спиральных ветвей с экстремумами усредненной радиальной зависимости остаточной скорости носит случайный характер, а размах зависимости наименьший по сравнению с двумя другими компонентами. Размах усредненных остаточных скоростей на рис. 7 позволяет оценить амплитуды искажения поля скоростей вследствие влияния спиральной волны плотности. Для радиальной компоненты пространственной скорости мы таким образом получаем величину около 6 км с^{-1} , а для тангенциальной — около 8 км с^{-1} . Формально для вертикальной компоненты у нас получается значение 4 км с^{-1} , наименьшее для рассмотренных случаев.

6. АМПЛИТУДЫ ИСКАЖЕНИЯ ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ

Еще одним подходом к изучению влияния волн плотности на поле скоростей диска Галактики является расширение формул Боттлингера дифференциального галактического вращения путем

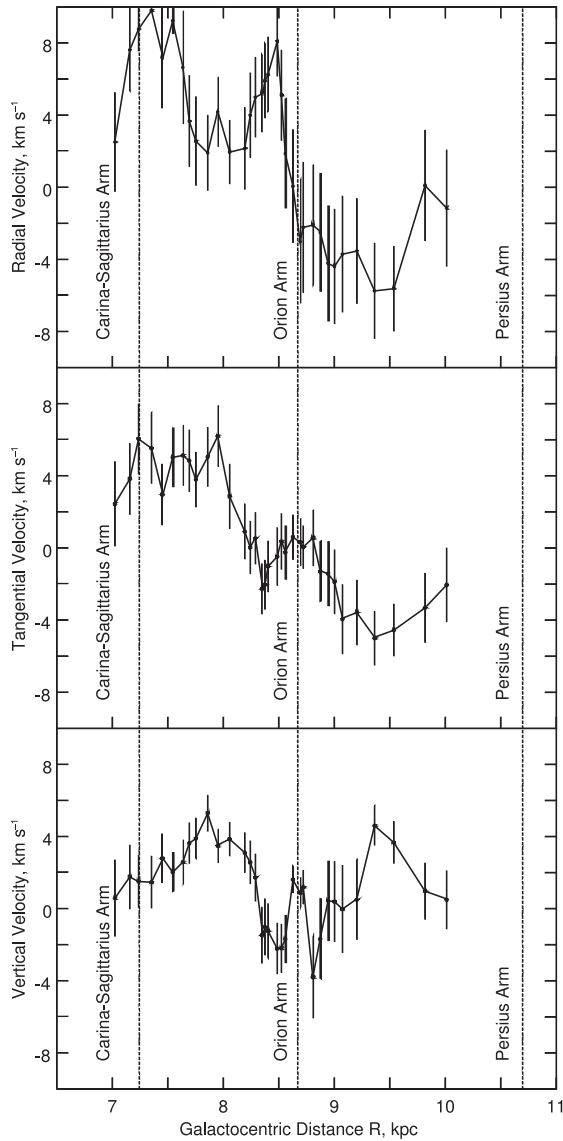


Рис. 7. Зависимости компонент пространственной скорости ГЗС от расстояния от центра Галактики. Штриховыми линиями отмечены положения отрезков спиральной структуры, полученные по молодым рассеянными скоплениям.

включения членов, описывающих влияние волн плотности. Подобную работу проделывали и мы, оценив амплитуды искажения поля скоростей и получив фазу Солнца в спиральной структуре [14]. Некоторые оценки амплитуд, полученные другими авторами, с соответствующими ссылками собраны в таблице 2. Из таблицы видно, что разброс оценок амплитуд велик, хотя ошибки оценок незначительны. Его причины можно найти на приведенных выше графиках, где, несмотря на сглаживание, точки показывают большой разброс, вызванный как ошибками исходных данных, так и

Таблица 2. Амплитуды искажения поля скоростей

| f_R , км с ⁻¹ | f_θ , км с ⁻¹ | Объекты | Ссылка |
|----------------------------|---------------------------------|---------------|--------|
| 3.5 ± 1.7 | 7.5 ± 1.8 | Цефеиды | [15] |
| 7 ± 1 | 6 ± 2 | ОВ-ассоциации | [16] |
| 5.5 ± 2.3 | 0.2 ± 1.6 | РЗС | [17] |
| 5.9 ± 1.1 | 4.6 ± 0.5 | Молодые РЗС | [18] |
| 10.8 ± 1.2 | 7.9 ± 1.3 | Звезды О-В2.5 | [19] |
| 7.8 ± 0.7 | 7.0 ± 1.2 | Мазеры | [19] |
| 8.5 ± 1.1 | 2.7 ± 1.1 | Цефеиды | [19] |

космической дисперсией. Мы решили применить и этот метод, имея большую выборку надежных данных, что, в частности, позволит нам оценить значимость включения соответствующих членов в модель галактического вращения.

Формулы для оценивания амплитуд методом наименьших квадратов взяты из работы Бобылева и Байковой [19]:

$$\begin{aligned}
 V_r &= R_0(\Omega - \Omega_0) \sin l \cos b \\
 &\quad - V_R \cos(l + \theta) \cos b \\
 &\quad + V_\theta \sin(l + \theta) \cos b, \\
 V_l &= R_0(\Omega - \Omega_0) \cos l - \Omega r \cos b \\
 &\quad + V_R \sin(l + \theta) \\
 &\quad + V_\theta \cos(l + \theta).
 \end{aligned} \tag{5}$$

Для учета влияния спиральной волны плотности использовалась простая кинематическая модель. Тогда:

$$\begin{aligned}
 V_R &= f_R \cos \chi, \\
 V_\theta &= f_\theta \sin \chi,
 \end{aligned} \tag{6}$$

где f_R и f_θ — амплитуды радиальной и тангенциальной компонент искажения поля скоростей диска Галактики. Радиальная фаза объекта в спиральной волне плотности χ вычислялась по формуле:

$$\chi = m \left(\frac{\lg(R - R_0)}{\lg i} - \theta \right) + \chi_0, \tag{7}$$

где m — число спиральных рукавов, i — угол их закрутки. Радиальная фаза Солнца в спиральной волне плотности χ_0 равна:

$$\chi_0 = \frac{2\pi(R_0 - R_1)}{R_2 - R_1}. \tag{8}$$

В качестве основных элементов спиральной структуры мы рассматривали рукава Киля-Стрельца и Ориона (галактоцентрические расстояния рукавов R_1 и R_2 равны 7.2 кпк и 8.7 кпк соответственно). Рукав Персея содержит мало

Таблица 3. Средневзвешенные компоненты амплитуды искажения поля скоростей, полученные по РЗС выборки

| Данные | f_R | f_θ |
|--------------------------|---------------|---------------|
| по лучевым скоростям | 4.1 ± 1.0 | 1.5 ± 1.3 |
| по собственным движениям | 5.6 ± 2.0 | 0.7 ± 1.0 |
| Средневзвешенное | 4.6 ± 0.7 | 1.1 ± 0.4 |

РЗС, поэтому в данной части работы не рассматривался в качестве основного рукава. Мы приняли четырехрукавную модель спиральной структуры Галактики согласно результатам работ Поповой и Локтина [20] и Бобылева и Байковой [21]. При этом в работе Мишурова и Зениной [15] показано, что отличия амплитуд искажения поля скоростей в двух- и четырехрукавных моделях незначительны. Угол наклона спирального узора определялся по положению молодых РЗС [13]. Полученные средневзвешенные компоненты амплитуд искажения поля скоростей приведены в таблице 3.

В качестве кривой вращения в формулах (5) взята кривая, определенная выше в рамках данной работы. В связи с заметными ошибками полученных нами оценок амплитуд мы решили проверить значимость включения членов, учитывающих спиральную структуру, в регрессионную модель (5). Для этого мы провели расчеты и для случая с исключением этих членов. В обоих случаях таблица распределения отношений дисперсий (распределение Фишера) для 95%-го уровня значимости и нашего объема выборки дает величину 1.28. Наши данные привели к величине отношения дисперсий 1.02 для лучевых скоростей и 1.01 для собственных движений. Таким образом, введение в регрессионную модель (5) членов, учитывающих влияние спиральной структуры, статистически незначимо.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С использованием полученных в данной работе кривой вращения Галактики и угловой скорости вращения Солнца $\Omega_0 = 25.6 \pm 1.2 \text{ км с}^{-1} \text{ кпк}^{-1}$ были исследованы радиальные зависимости компонент скоростей РЗС от галактоцентрического расстояния. Кривая вращения диска Галактики определялась как ее приближение полиномом по обратным степеням галактоцентрического расстояния. Такая форма удобна для получения остаточных скоростей и исследования крупномасштабных искажений поля скоростей объектов диска Галактики. Зависимости остаточных скоростей РЗС от галактоцентрических расстояний привели к оценкам амплитуд искажения поля скоростей

$f_R = 4.6 \pm 0.7 \text{ км с}^{-1}$ и $f_\theta = 1.1 \pm 0.4 \text{ км с}^{-1}$. Попытка определить величины амплитуд искажений поля скоростей, вызываемых спиральной волной плотности, методом наименьших квадратов показала, что включенные в регрессионную модель члены, описывающие это явление, оказываются незначимыми.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Часть работы проведена при финансовой поддержке государства в лице Министерства науки Российской Федерации (базовая часть гос. задания, РК № АААА–А17–117030310283–7), а так же при финансовой поддержке постановления № 211 Правительства Российской Федерации, контракт № 02.А03.21.0006.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. V. Loktin and M. E. Popova, *Astrophysical Bulletin* **72**, 257 (2017).
2. Gaia Collaboration, A. G. A. Brown, A. Vallenari, et al., *Astron. and Astrophys.* **616**, A1 (2018).
3. М. Ё. Popova and A. V. Loktin, *Astronomy Letters* **31**, 663 (2005).
4. G. Kordopatis, G. Gilmore, M. Steinmetz, et al., *Astron. J.* **146**, 134 (2013).
5. T. Cantat-Gaudin, C. Jordi, A. Vallenari, et al., *VizieR Online Data Catalog* **361** (2018).
6. A. V. Loktin and G. V. Beshenov, *Astronomy Reports* **47**, 6 (2003).
7. T. P. Gerasimenko, *Astronomy Reports* **48**, 103 (2004).
8. M. E. Popova, *Astronomische Nachrichten* **334**, 756 (2013).
9. Y. Sofue, *Mass Distribution and Rotation Curve in the Galaxy* (2013), p. 985.
10. A. V. Loktin and M. E. Popova, *Astronomical and Astrophysical Transactions* **27**, 379 (2012).
11. M. W. Feast and M. Shuttleworth, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **130**, 243 (1965).
12. D. Russeil, A. Zavagno, P. Mège, et al., *Astron. and Astrophys.* **601**, L5 (2017).
13. M. E. Popova and A. V. Loktin, *Astronomy Letters* **31**, 171 (2005).
14. М. Ё. Popova, *Astronomy Letters* **32**, 244 (2006).
15. Y. N. Mishurov and I. A. Zenina, *Astron. and Astrophys.* **341**, 81 (1999).
16. A. M. Mel'nik, A. K. Dambis, and A. S. Rastorguev, *Astronomy Letters* **27**, 521 (2001).
17. M. V. Zabolotskikh, A. S. Rastorguev, and A. K. Dambis, *Astronomy Letters* **28**, 454 (2002).

18. V. V. Bobylev, A. T. Bajkova, and A. S. Stepanishchev, *Astronomy Letters* **34**, 515 (2008).
 19. V. V. Bobylev and A. T. Bajkova, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **441**, 142 (2014).
 20. M. E. Popova and A. V. Loktin, *Astronomy Letters* **34**, 551 (2008).
 21. V. V. Bobylev and A. T. Bajkova, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **437**, 1549 (2014).

Kinematics of Open Star Clusters Based on the Data of the New Version of the “Homogeneous Catalog of Open Cluster Parameters”

A. V. Loktin and M. E. Popova

We investigate some aspects of Galactic disc kinematics based on the data on open clusters from the current version of “The Homogeneous Catalog of the Main Parameters of Open Star Clusters” and from Gaia DR2. Based on the radial velocity and proper motion data for the clusters we determine the angular velocity of the Sun in the Galaxy as $\Omega_0 = 25.6 \pm 1.2 \text{ km s}^{-1} \text{ kpc}^{-1}$. A new approximation of the Galactic rotation curve by a polynomial in inverse powers of galactocentric distances is constructed. We consider the influence of spiral density waves on the smoothed velocity field of the Galactic disc. The radial $f_R = 4.6 \pm 0.7 \text{ km s}^{-1}$ and tangential $f_\theta = 1.1 \pm 0.4 \text{ km s}^{-1}$ amplitudes of the velocity field distortion are estimated from the radial dependences of the residual spatial velocity components of the clusters.

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