

# Кинематика рассеянных звездных скоплений в Галактике по данным Gaia DR3

М.Э. Попова

Астрономическая обсерватория Уральского федерального университета

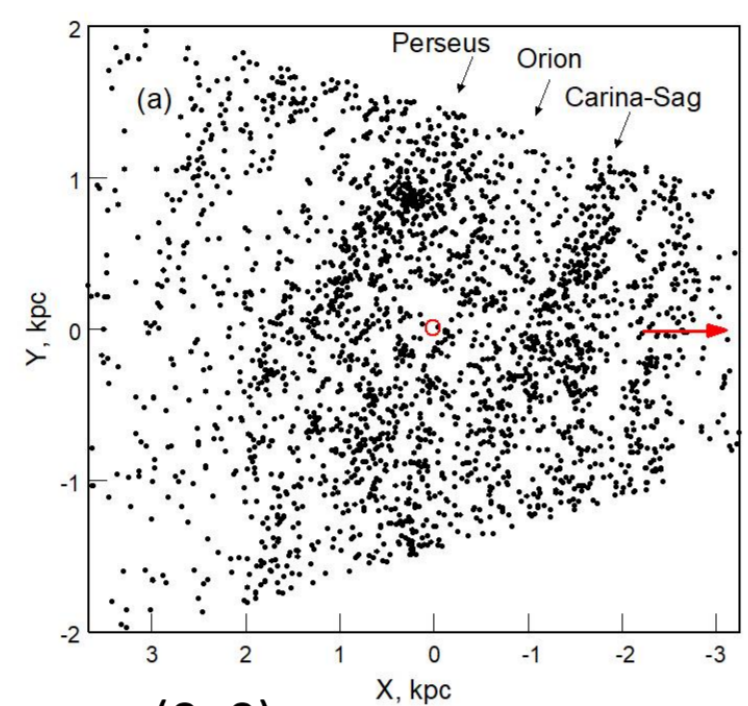
Проанализированы зависимости компонент скорости движения рассеянных скоплений (РЗС) и среднеквадратичные отклонения этих компонент от положения резонансов Линдблада и спиральных рукавов на интервале галактоцентрических расстояний от 5 до 12 кпк. Среднеквадратичные отклонения компонент скорости демонстрируют увеличение в области внутреннего резонанса Линдблада при относительно малых ошибках величин и уменьшение в областях рукавов Киля-Стрельца и Персея. Рукав Ориона по кинематическим данным практически не выделяется.

## Данные: Каталог Hunt, Reffert, 2024 (Gaia DR3)

РЗС с  $\lg(T) \leq 8.75$ ,  $V_r$  получены по  $\geq 3$  звездам-членам РЗС, ошибки  $V_r \leq 10$  км/с, ошибки  $\mu_\alpha$  и  $\mu_\delta \leq 0.1$  мас/год,  $R = 5.0 - 12.0$  кпк, галактоцентрический угол  $\theta \leq |10^\circ|$

Рис. 1. Положение РЗС выборки (1263 РЗС) на плоскости Галактики.

Красная стрелка - направление на центр Галактики, вращение по часовой стрелке, Солнце в т. (0, 0)  
Стрелки - наблюдаемые положения ветвей Киля-Стрельца, Ориона и Персея



## Кривая угловых скоростей вращения $\Omega(R)$

Построена кривая угловых скоростей вращения, приближенная полином обратных степеней R вида:

$$\Omega(R) = \frac{A}{R} + \frac{B}{R^2} + \frac{C}{R^3} \quad R - \text{расстояние от оси вращения Галактики}$$

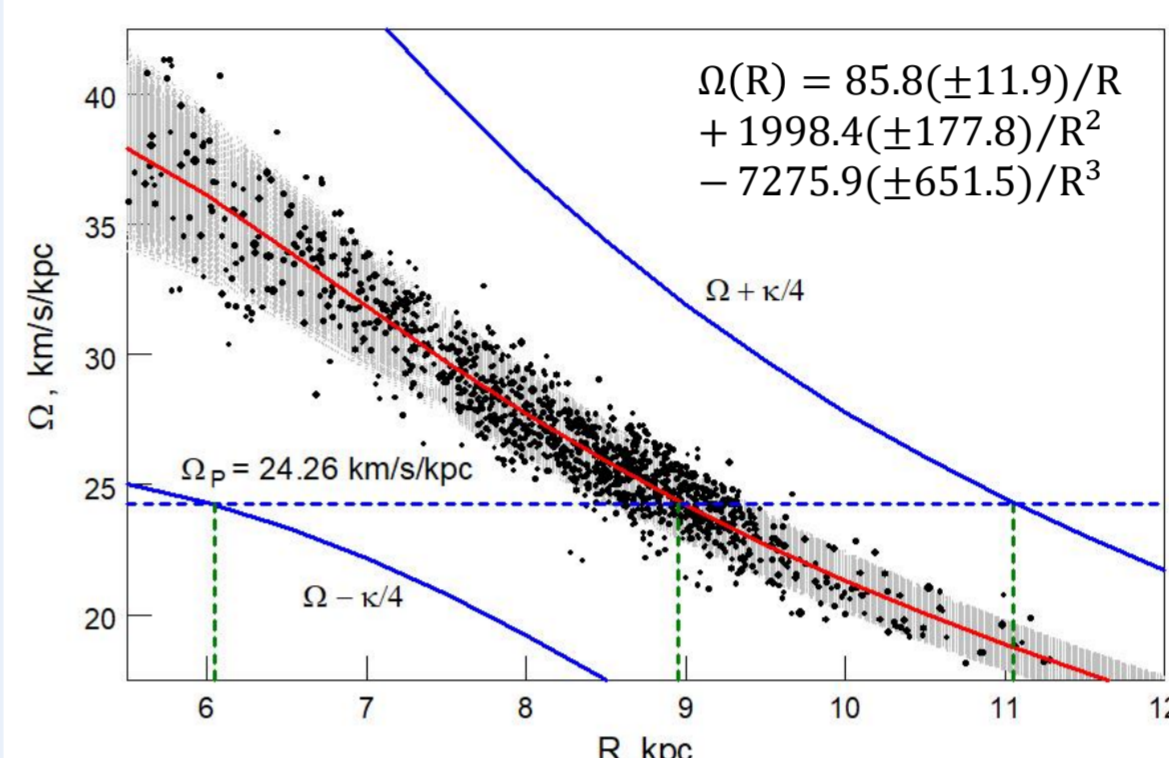


Рис. 2 - Зависимости от R величин  $\Omega$  и  $\Omega \pm \kappa/4$  для 4-рукавной модели Галактики ( $m = 4$ ).

$\Omega$  - красная кривая  
 $\Omega \pm \kappa/4$  - синие кривые  
 $\kappa$  - эписциклическая частота

$$\kappa^2 = 4\Omega \left( \Omega + \frac{R\Omega'}{2} \right)$$

$\Omega_p$  - скорость вращения спирального узора (Bobylev, Vajkova, 2023) - синяя пунктирная линия  
Области внутреннего  $R_{ILR}$  и внешнего  $R_{OLR}$  резонансов Линдблада, область коротации  $R_C$  - зеленые пунктирные линии  
Пересечения  $(\Omega \pm \kappa/4)$  с  $\Omega_p$  дают положения резонансов Линдблада, между которыми могут существовать волны плотности  $\rightarrow$  спиральная структура.

$R_{ILR} = 6.0 \pm 0.7$  кпк,  $R_{OLR} = 11.0 \pm 0.7$  кпк,  $R_C = 8.9 \pm 0.4$  кпк

## Угловая скорость вращения $\Omega_0$ в окрестностях Солнца

$\Omega_0$  оценивалась для каждого РЗС исключением кривой вращения Галактики  $\Omega(R)$  из формул Боттлингера для лучевой  $V_r$  и тангенциальной  $V_t$  составляющих скорости:

$$\Omega_0 = \frac{V_r(R_0 \cos l - r \cos b)}{R_0 r \sin l \cos^2 b} - \frac{V_t}{r \cos b} \quad l, b - \text{галактические координаты РЗС, } r - \text{расстояние от Солнца}$$

Лучевая  $V_r$  и тангенциальная  $V_t$  скорости приведены к LSR (Bobylev, Vajkova, 2019),  $R_0 = 8.32$  кпк (Gillessen, et al., 2017)

При усреднении использовались веса  $w = P / |\sin l|$ , где P - величина, обратно пропорциональная сумме квадратов ошибок скоростей.  
Рассматривались только РЗС на  $r \leq 1$  кпк.

Средневзвешенное значение частоты вращения Галактики в окрестностях Солнца  $\Omega_0 = 26.95 \pm 0.66$  км/с/кпк

## Компоненты скорости РЗС $V_R$ , $V_\theta$ , $V_z$ в галактоцентрической системе координат

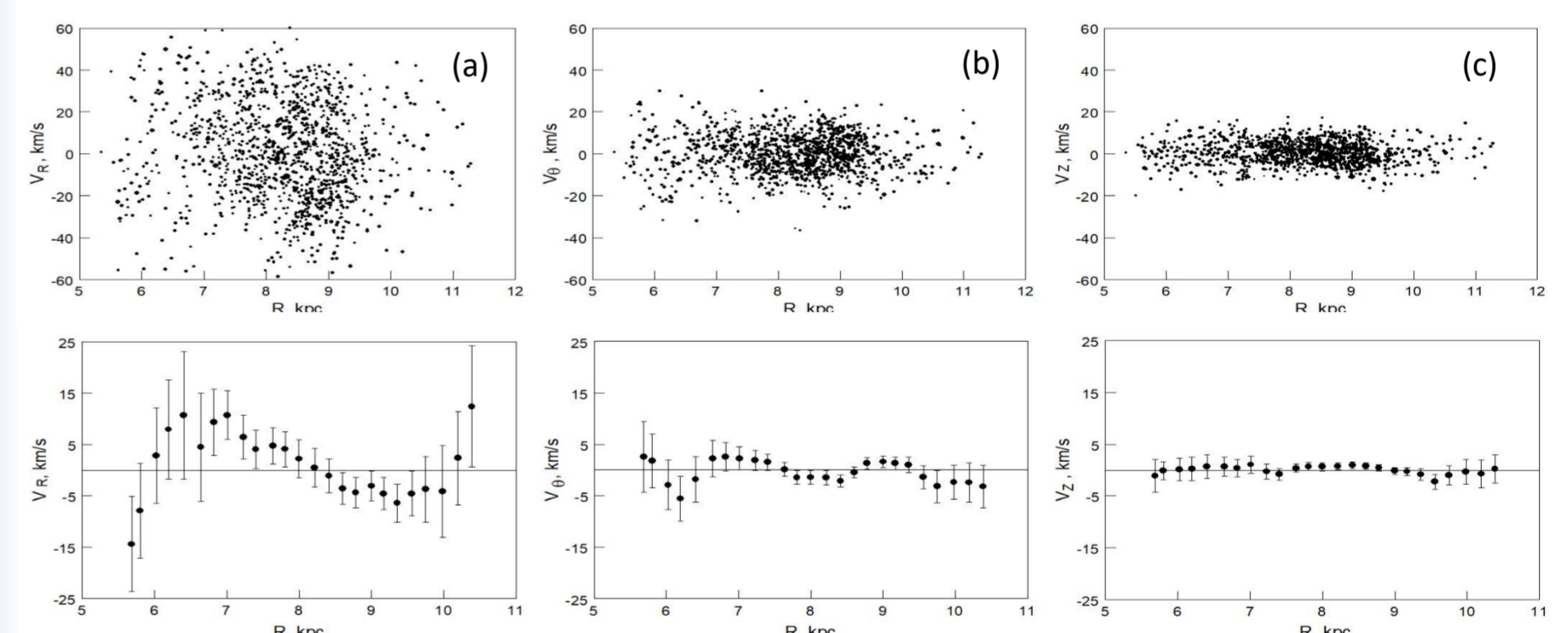


Рис. 3 - Верхняя панель - Компоненты радиальной  $V_R$  (a), тангенциальной  $V_\theta$  (за вычетом кривой вращения) (b) и вертикальной  $V_z$  (c) скорости. Нижняя панель - Усредненные компоненты скорости - средневзвешенные по всем РЗС, попадающим в интервал  $\Delta R = 0.4$  кпк.

$V_R$  максимальная, наблюдается ярко выраженная гармоническая зависимость с амплитудой около 20 км/с.  
Компоненты скорости не показывают зависимости от положения спиральных рукавов.

## Стандартные отклонения компонент скорости РЗС

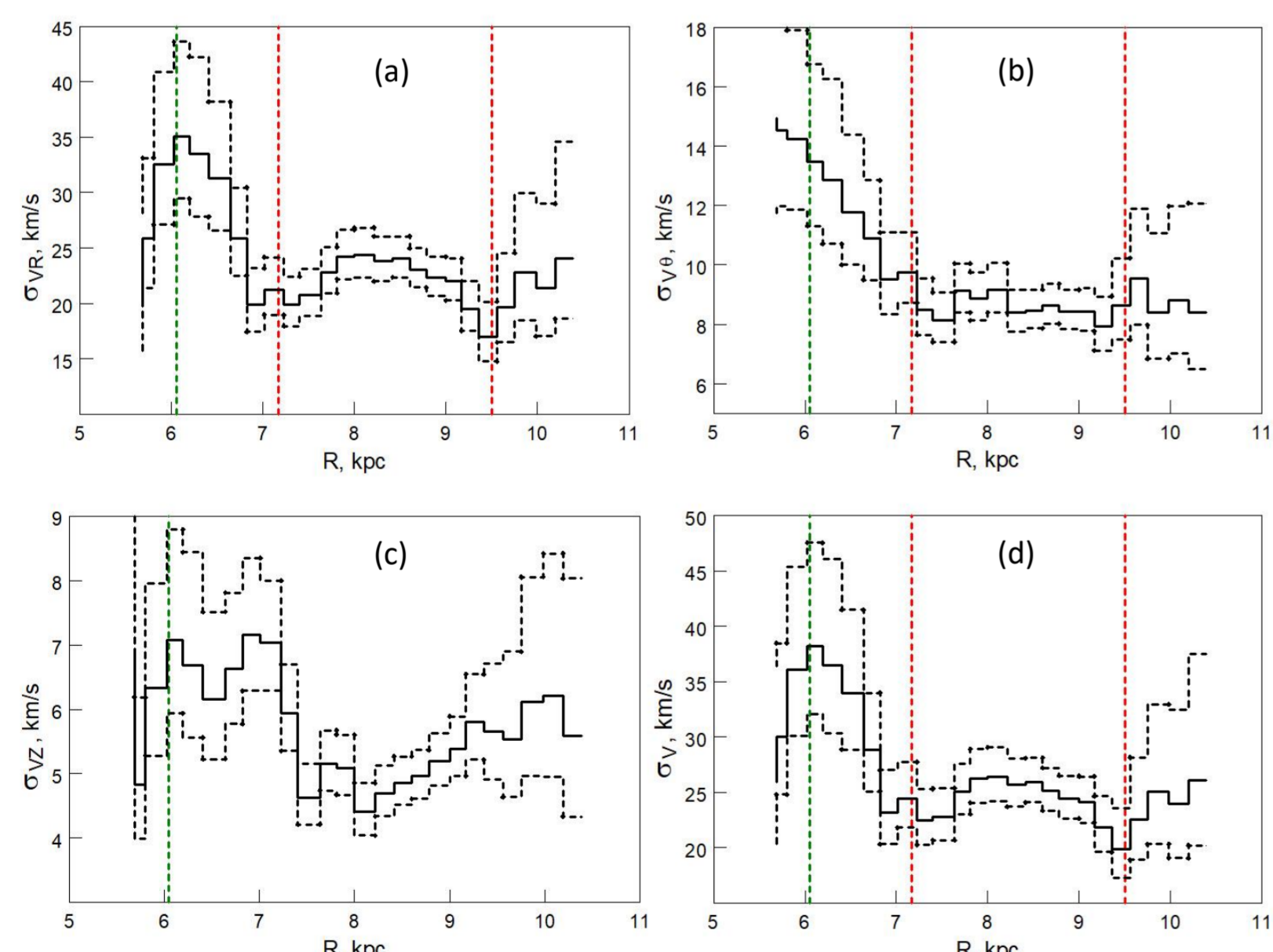
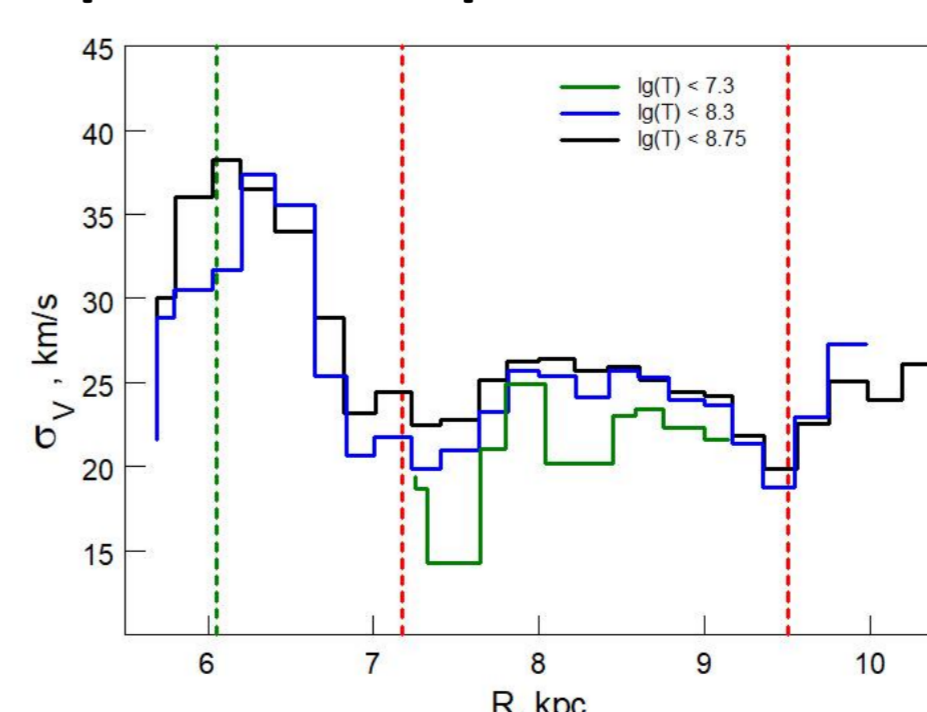


Рис. 4 - Стандартные отклонения радиальной (a), тангенциальной (b) и вертикальной (c) компонент скорости, (d) - суммарное стандартное отклонение  $\sigma_V = \sqrt{\sigma_{VR}^2 + \sigma_{V\theta}^2 + \sigma_{Vz}^2}$

зеленый пунктир - внутренний резонанс Линдблада,  
красные пунктиры - области рукавов Киля-Стрельца и Персея.

В области  $R_{ILR}$  наблюдается максимум всех распределений.  
Распределение  $\sigma_{V\theta}$  близко к монотонно-убывающему.  
Наблюдается уменьшение  $\sigma_V$  в областях спиральных рукавов Киля-Стрельца ( $R \approx 7.2$ ) и Персея ( $R \approx 9.5$  кпк).  
Рукав Ориона ( $R \approx 8.1$  кпк) кинематически не выделяется.

## Суммарное стандартное отклонение скорости для РЗС разного возраста



Наблюдается увеличение стандартного отклонения ( $\rightarrow$  тепловой удельной кинетической энергии РЗС) с возрастом.

Положения локальных максимумов и минимумов для РЗС разного возраста согласуются между собой.