

# Строение рассеянных скоплений

Фархутдинова А. М. Кочергина П. В. Дромашко М. С.

Санкт-Петербургский государственный университет

14 марта 2024

# Содержание

- 1 Важность изучения РЗС
- 2 История
- 3 Особенности строения
- 4 Классификация Трамплера
- 5 Методы отделения звезд скопления от звезд поля
  - Кинематический метод
  - Статистический метод Сандерса
- 6 Методы определения параметров РЗС
  - Методы определения избытков цвета. Двухцветная диаграмма
  - Методы определения избытков цвета. Q-метод
  - Методы определения расстояний. Метод НГП
  - Методы определения расстояний. Цефеиды
  - Метод изохрон
- 7 Звездные ассоциации
  - Характеристики
  - Классификация
- 8 Список литературы

# Важность изучения РЗС

**Рассеянное скопление** — это тип звездного скопления, состоящего из десятков или нескольких тысяч звезд, образовавшихся из одного гигантского молекулярного облака и имеющих примерно одинаковый возраст.



# Важность изучения РЗС

Отличительной особенностью РЗС является то, что они представляют собой группы звезд, которые:

- Находятся от нас на практически одинаковом расстоянии
- Однаково подвержены эффектам межзвездного поглощения и покраснения света
- Имеют почти одинаковый возраст
- Имеют практически идентичный химический состав и, как следствие, металличность

Рассеянные скопления являются ключевыми объектами в изучении звездной эволюции. Поскольку члены скопления имеют одинаковый возраст и химический состав, их свойства (такие как расстояние, возраст, металличность, поглощение и скорость) определить легче, чем для изолированных звезд.

# История

Некоторые РЗС известны с древности.

- Плеяды известны еще со времен античности
- Греческий астроном Клавдий Птолемей упоминал Ясли, Двойное скопление в Персее и Скопление Птолемея
- Персидский астроном Ас-Суфи описал скопление Омикрон Парусов

Тем не менее, различить их на звезды смогли только после изобретения телескопа.

# История



Рис.: Скопление Плеяд

# История



Рис.: Скопление Гиад

# История



Рис.: Скопление Ясли

# История

- Галлилей в 1609 г. обнаружил, что некоторые из РЗС описанных Птолемеем являются группами из большого числа звезд
- Джованни Годиерна в 1654 г. обнаружил M41, M47, NGC 2362 и NGC 2451
- 1774–1781 гг. — публикация каталогов Шарля Мессье
- 1789 г. — Ульям Гершель начинает всесторонне исследование «туманных» небесных объектов
- 1888 г. — публикация каталога NGC

Телескопические наблюдения позволили выявить два разных типа скоплений — шаровые и рассеянные.

# История

- Эдуард Шёнфельд произвел первые микрометрические измерения позиций звезд в скоплениях в 1877 г.
- Адриан ван Маанен в 1918 г. смог измерить собственное движение звезд для части скопления Плеяд
- Первые диаграммы «цвет—светимость» для рассеянных скоплений были опубликованы Эйнаром Герцшпрунгом в 1911 г. вместе со схемами Плеяд и Гиад

# Особенности строения

- Число звезд  $\sim 10 \div 10^4$
- Как правило, состоят из хорошо отличимого плотного ядра, окруженного более рассеянной «короной» из звёзд
- Диаметр ядра  $\sim 1$  пк
- Диаметр «короны»  $\sim 10$  пк
- Плотность звезд в центре  $\sim 40$  звезд/пк<sup>3</sup>

# Особенности строения

## Иллюстрация из статьи[4]

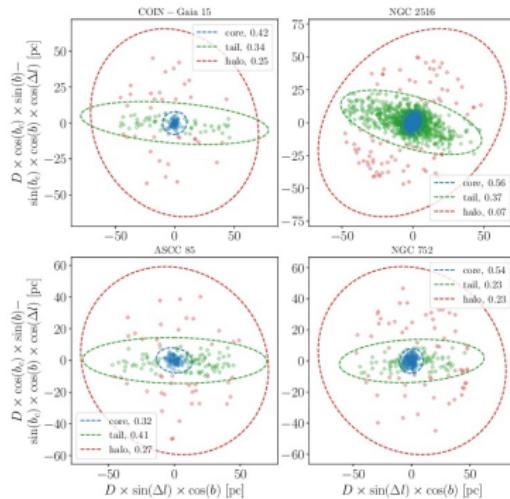


Рис.: Example of four clusters for which we detect a tidal tail. The blue, green, and red ellipses represent the  $3\sigma$  ellipse fit on the distribution of the stars standing for the core, the tidal tail, and the halo, respectively. The stars are colored according to which components they most likely belong. The relative weights of each component are indicated in each panel.

# Особенности строения

## Туманности

Вместе со скоплением иногда наблюдается туманность. Сами туманности разделяют на два типа:

- Диффузная (светлая) туманность — туманность излучающая свет, имеет три подтипа:
  1. Эмиссионная (самосветящаяся) туманность — межзвездное облако, излучающее в оптическом диапазоне из-за ионизации собственного газа
  2. Отражательная туманность — туманность (газово-пылевое облако), подсвечиваемая звездой
  3. Остаток сверхновой
- Темная туманность

# Особенности строения

## Туманности

Тройная туманность (каталогизированная как Мессье 20 или M20 и NGC 6514) представляет собой рассеянное скопление, а также комбинацию Эмиссионной, Отражательной и Темной туманностей, расположенное в области Стрельца Млечного Пути.



# Классификация Трампера

Схема классификации, предложенная Трамплером[3]. Состоит из трех частей.

- Концентрация

- I — Отделено от поля; сильная концентрация к центру
- II — Отделено от поля; слабая концентрация к центру
- III — Отделено от поля; нет концентрации к центру
- IV — Плохо отделено от окружающего звездного поля

- Диапазон яркости

- 1 — Небольшой диапазон яркости
- 2 — Умеренный диапазон яркости
- 3 — Большой диапазон яркости

- Богатство

- p — Бедное (меньше 50 звезд)
- m — Умеренно богатое (от 50 до 100 звезд)
- r — Богатое (более 100 звезд)

Буква «n» после класса Трампера указывает на то, что со скоплением связана туманность.

# Методы отделения звезд скопления от звезд поля

## Кинематический метод

Применяется если звезды скопления имеют сильно отличающиеся собственные скорости от скоростей звезд фона.

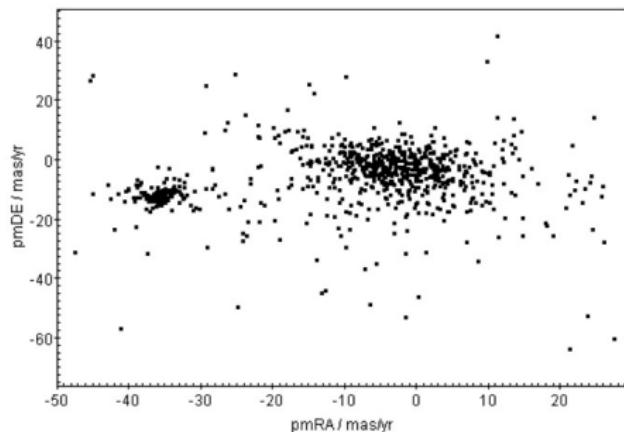


Рис.: Поле движения звезд в поле скопления Ясли

К сожалению, случаи такого разделения редки.

# Методы отделения звезд скопления от звезд поля

## Статистический метод Сандерса

Метод предложенный Сандерсом[2]. Позволяет определить

- Средние собственные движения звезд скопления  $\mu = (\mu_\alpha, \mu_\delta)$
- Средние собственные движения звезд фона  $\mu^f = (\mu_\alpha^f, \mu_\delta^f)$
- Средние дисперсии собственных движений звезд скопления  $\sigma = (\sigma_\alpha, \sigma_\delta)$
- Средние дисперсии собственных движений звезд фона  $\sigma^f = (\sigma_\alpha^f, \sigma_\delta^f)$
- Относительное количество звезд в скоплении  $N$
- Вероятность принадлежности звезды к скоплению  $P$

# Методы отделения звезд скопления от звезд поля

## Статистический метод Сандерса

- Составляется выборка звезд известными собственными движениями  $(\mu_\alpha^i, \mu_\delta^i)$  и их погрешностями  $(\varepsilon_\alpha^i, \varepsilon_\delta^i)$
- Составляется функция плотности вероятности для звезд скопления

$$F_i(\mu, \sigma, N) = \frac{N}{2\pi\sqrt{\sigma_\alpha^2 + \varepsilon_\alpha^{i2}}\sqrt{\sigma_\delta^2 + \varepsilon_\delta^{i2}}} \exp\left(-0.5\left[\frac{(\mu_\alpha^i - \mu_\alpha)^2}{\sigma_\alpha^2 + \varepsilon_\alpha^{i2}} + \frac{(\mu_\delta^i - \mu_\delta)^2}{\sigma_\delta^2 + \varepsilon_\delta^{i2}}\right]\right)$$

и для звезд фона вида

$$F_i^f(\mu^f, \sigma^f, N) = \frac{1 - N}{2\pi\sqrt{\sigma_\alpha^{f2} + \varepsilon_\alpha^{i2}}\sqrt{\sigma_\delta^{f2} + \varepsilon_\delta^{i2}}} \exp\left(-0.5\left[\frac{(\mu_\alpha^i - \mu_\alpha^f)^2}{\sigma_\alpha^{f2} + \varepsilon_\alpha^{i2}} + \frac{(\mu_\delta^i - \mu_\delta^f)^2}{\sigma_\delta^{f2} + \varepsilon_\delta^{i2}}\right]\right)$$

# Методы отделения звезд скопления от звезд поля

## Статистический метод Сандерса

- Составляется функция правдоподобия

$$Q(\mu, \sigma, \mu^f, \sigma^f, N) = \prod_i \left( F_i + F_i^f \right)$$

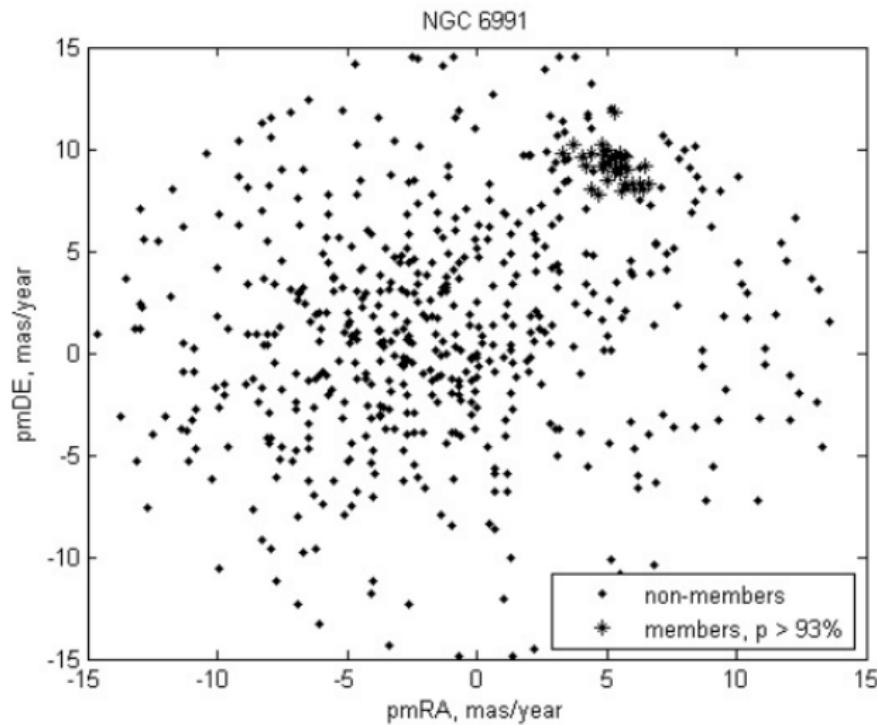
Ее максимум дает нам значения  $\mu, \sigma, \mu^f, \sigma^f, N$

- Вероятность принадлежности звезды выборки  $i$  к скоплению оценивается как

$$P_i = \frac{F_i}{F_i + F_i^f}$$

# Методы отделения звезд скопления от звезд поля

## Статистический метод Сандерса



# Параметры РЗС

Basic Parameters	
Right Ascension (2000)	03 47 00
Declination (2000)	+24 07 00
Galactic longitude	166.571
Galactic latitude	-23.521
Distance [pc]	150
Reddening [mag]	0.030
Distance modulus [mag]	5.97
Log Age	8.131
Metallicity	
Notes	



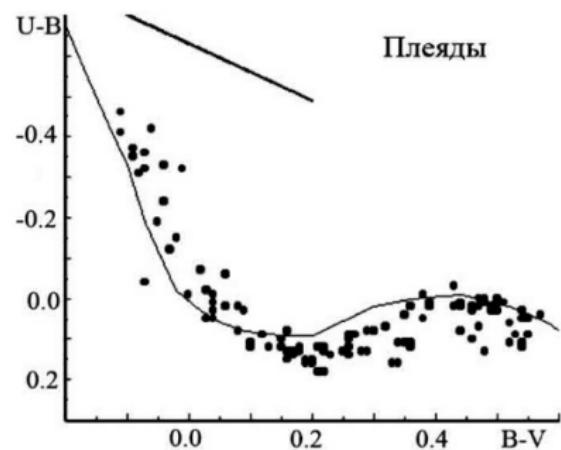
M45 (© Peter Wienerroither \* <http://homepage.univie.ac.at/~pw/>)

# Методы определения параметров РЗС

Методы определения избытков цвета. Двухцветная диаграмма

Основной способ определения избытка цвета РЗС.

- Типичная погрешность метода  $\sim 0^m.01$
- Избыток цвета определяется как сдвиг влево и вверх всей диаграммы скопления вдоль линии нарастающего покраснения до совпадения с последовательностью непокрасневших звёзд

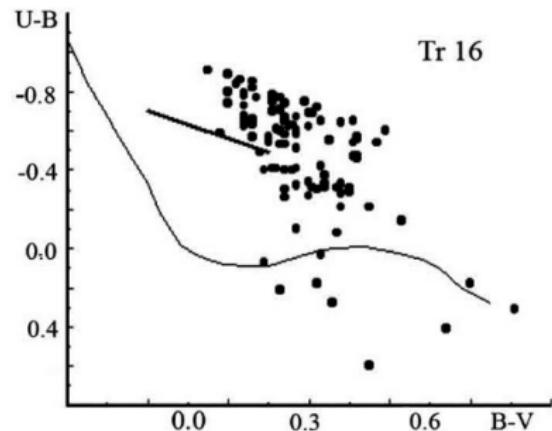


# Методы определения параметров РЗС

## Методы определения избытков цвета. Двухцветная диаграмма

Применим не всегда.

- Всегда имеется трудность с отделением членов скопления от звёзд поля
- У заметного числа скоплений покраснения для разных звёзд не равны — имеется дифференциальное покраснение



# Методы определения параметров РЗС

## Методы определения избытков цвета. Q-метод

В случае небольших покраснений, когда можно пренебречь отличием линии нарастающего покраснения от прямой линии, для определения индивидуальных избытков цвета можно применить Q-метод.

- Введем параметр  $Q_{UBV} = (U - B) - K * (B - V)$ , где  $K$  — наклон линии покраснения. Эта величина не зависит от величины межзвездного покраснения
- Заменим двухцветную диаграмму на диаграмму  $(B - V, Q_{UBV})$
- На полученной диаграмме линии нарастающего покраснения — прямые параллельные координатным осям

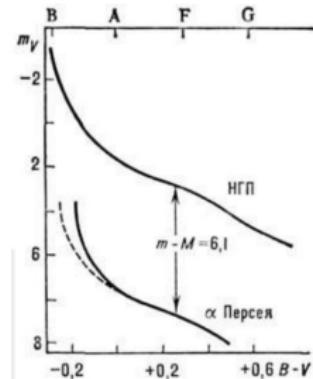
Таким образом существенно упрощается определение избытков цвета.

# Методы определения параметров РЗС

## Методы определения расстояний. Метод НГП

Зная диаграмму Герцшпрунга-Рассела скопления, можно определить истинный модуль расстояния до него. Для этого используют метод начальной главной последовательности.

- Звезды скопления находятся почти на одном и том же расстоянии от Солнца
- Если пренебречь наличием сильно проэволюционировавших звезд, то можно считать, что диаграмма скопления совпадает с главной последовательностью с точностью до сдвига
- Относительная погрешность определения расстояний  $\sim 20\%$

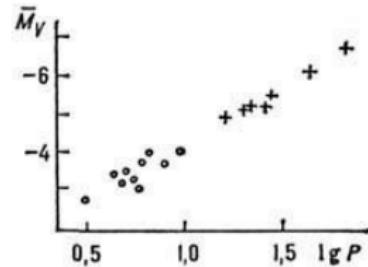


# Методы определения параметров РЗС

## Методы определения расстояний. Цефеиды

В некоторых РЗС обнаружены желтые пульсирующие гиганты — цефеиды, их можно использовать для определения расстояния до скопления.

- Цефеиды имеют хорошо изученную зависимость между периодом и светимостью, поэтому можно определить расстояние до цефеиды
- Поскольку расстояния звезд скопления до Солнца почти равны, то расстояние до цефеиды можно взять как оценку расстояния до скопления

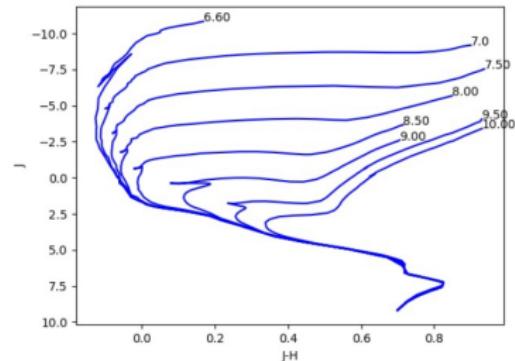


# Методы определения параметров РЗС

## Метод изохрон

Изохрона — линия равного возраста на диаграмме «цвет — звездная величина».

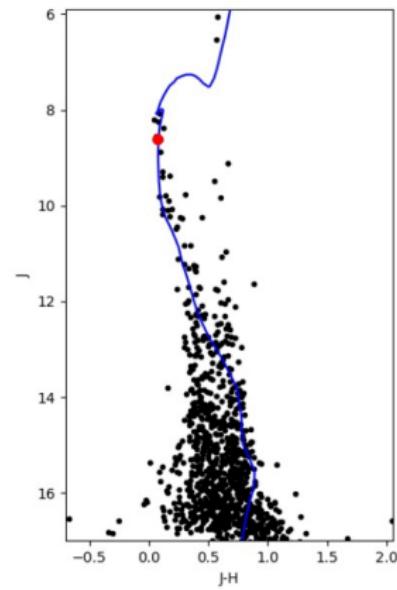
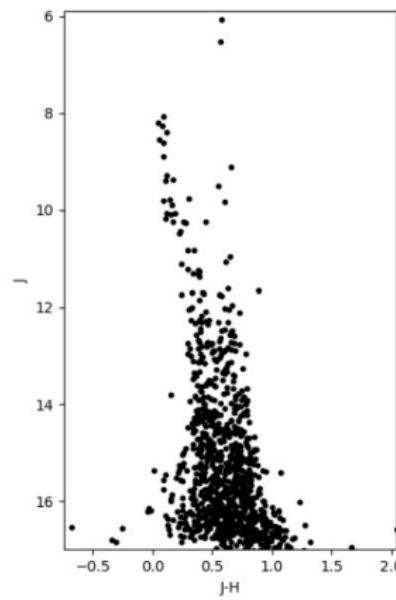
- Построение теоретических изохрон происходит при помощи численного расчета эволюционных треков звезд различных масс
- Точность вычисления эволюционных треков звезд сильно падает на поздних эволюционных стадиях



Методы определения параметров РЗС

## Метод изохрон

Метод заключается в совмещении диаграммы «цвет — звездная величина» скопления с соответствующей изохроной:

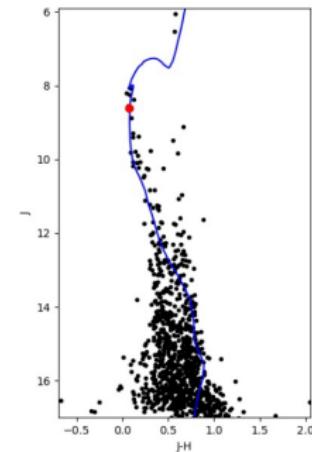


# Методы определения параметров РЗС

## Метод изохрон

При этом одновременно определяются сразу три параметра скопления:

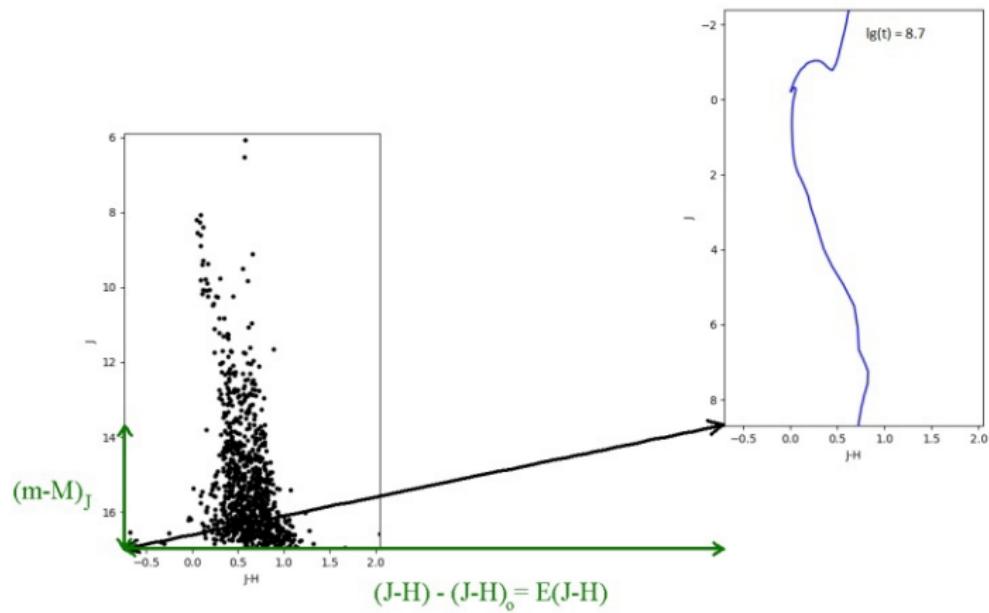
- Видимый модуль расстояния в соответствующей полосе
- Избыток соответствующего цвета
- Возраст скопления



Красная точка — «точка поворота» — точка, где звезды сходят с главной последовательности после выгорания водородного топлива (самая «голубая»). Эта точка характеризует возраст скопления, позволяя подобрать нужную изохрону.

# Методы определения параметров РЗС

## Метод изохрон

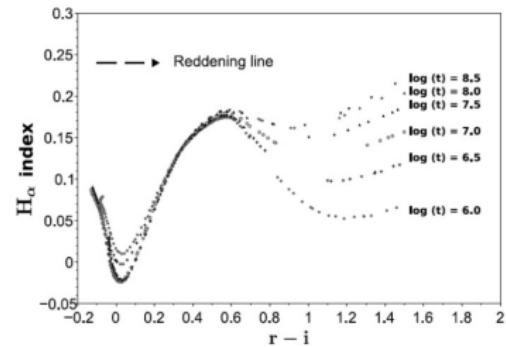


# Методы определения параметров РЗС

## Метод изохрон. h-индекс

В 2017 г. Дамбисом и др. было показано[1], что подбор изохроны можно существенно упростить. Для этого вводится величина  $h = 0.755R + 0.245I - H_\alpha$ , называемая h-индексом ( $H_\alpha$  – звездная величина в фильтре, центрированном по линии Бальмера).

- h-индекс не зависит от покраснения (в первом приближении)
- Изохроны, построенные на диаграмме  $(R - I, h)$  имеет минимум на одном и том же показателе цвета, что позволяет сразу определить избыток цвета сдвигая диаграмму скопления вдоль оси абсцисс



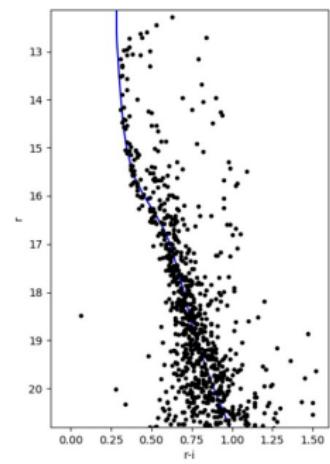
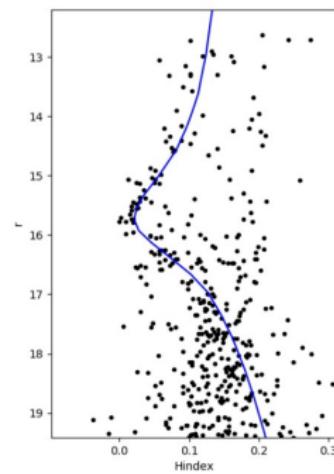
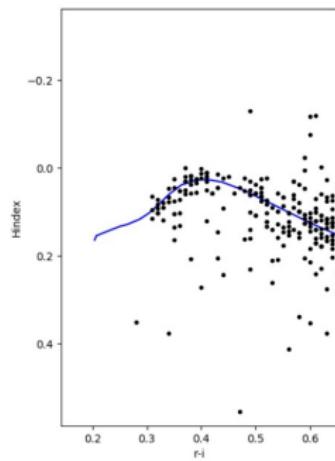
# Методы определения параметров РЗС

## Метод изохрон. h-индекс

- Аналогично диаграмме  $(R - I, h)$ , изохроны на диаграмме  $(h, R)$  имеют минимум при одном и том же значении R, что позволяет сдвигом вдоль координатной оси определить модуль расстояния
- Зная избыток цвета и модуль расстояния по диаграмме  $(R - I, R)$  можно определить возраст
- На практике часто диаграмма  $(h, R)$  оказывается неудовлетворительной, поэтому после определения избытка цвета сразу переходят к диаграмме  $(R - I, R)$ , подбирая сдвигом изохроны сразу два параметра

# Методы определения параметров РЗС

## Метод изохрон. h-индекс



# Методы определения параметров РЗС

## Метод изохрон

Метод изохрон имеет ряд недостатков:

- Метод изохрон сильно зависит от модели эволюции звезд, особенно велики расхождения в области малых масс
- Так как самыми распространенными звездами являются K гиганты и A карлики, может возникнуть псевдо главная последовательность или другие ложные особенности, что затруднит определение параметров скопления
- Для точных результатов нужно хорошо изучить поглощение в поле скопления

# Звездные ассоциации

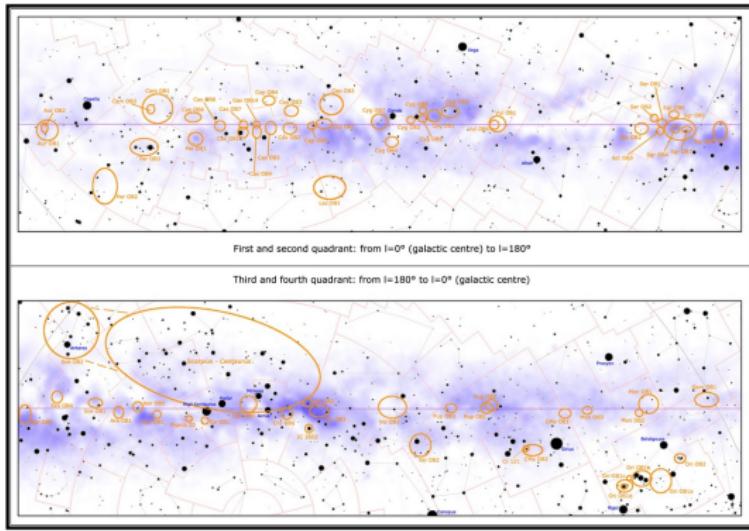
**Звёздные ассоциации** — группировки гравитационно несвязанных или слабо связанных звёзд. Такие звёзды имеют общее происхождение и довольно молоды: их возраст не превышает нескольких десятков миллионов лет.



Рис.: Трапеция Ориона

# Звёздные ассоциации

Звёздные ассоциации впервые обнаружил Виктор Амбарцумян в 1947 г. и рассчитал, что такие объекты распадаются за несколько миллионов лет. Это открытие также свидетельствовало о том, что звездообразование в Галактике происходит до сих пор.



# Звездные ассоциации

## Характеристики

- Отличия от РЗС:
  1. Большой размер — в среднем 50-100пк
  2. Меньшее количество — в звёздной ассоциации звёзд от нескольких штук до нескольких сотен
- Как правило, звёздные ассоциации находятся в плоской составляющей диска Галактики толщиной 100-200пк
- Звёзды имеют довольно маленький возраст (не более нескольких десятков миллионов лет)
- Содержание тяжёлых элементов в звездах довольно велико и составляет 2-3%

# Звездные ассоциации

## Классификация

Выделяют три типа звездных ассоциаций:

- OB-ассоциации также известные как O-ассоциации — содержат массивные звёзды главной последовательности, спектральных классов O и B
- T-ассоциации — содержат в основном маломассивные переменные звёзды типа Т Тельца, ещё не дожедшие до стадии главной последовательности
- R-ассоциации — ассоциации, в которых звёзды спектральных классов O-A2 окружены отражательными газопылевыми туманностями

## Список литературы

- [1] L. N. Berdnikov A. K. Dambis, E. V. Glushkova. *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* 465, 1505. 2017.
- [2] W. L. Sanders. *An improved method for computing membership probabilities in open clusters.* Astron. and Astrophys. - №14. – pp. 226-232, 1971.
- [3] Robert Julius Trumpler. *Preliminary results on the distances, dimensions and space distribution of open star clusters.* Lick Observatory Bulletin, No. 420, Vol. 14, pp. 154-188 [ADS: 1930LicOB.420..154T], 1930.
- [4] Jing Zhong, Li Chen, Yueyue Jiang, Songmei Qin, and Jinliang Hou. New Insights into the Structure of Open Clusters in the Gaia Era. *The Astronomical Journal*, 164(2):54, August 2022.