

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
МАТЕМАТИКО-МЕХАНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АСТРОФИЗИКИ

РАССЕЯННЫЕ ЗВЕЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ.

студентка 591 группы
Мокрушина Анна Алексеевна

Санкт-Петербург 2013

1 Общие сведения

Рассеянные звездные скопления – это гравитационно связанные группы звезд, имеющих общее происхождение, близкий химический состав и возраст.

Звезды рассеянного скопления образовались из одного гигантского молекулярного облака, которое представляет собой холодное плотное облако газа и пыли. Существует ряд факторов (ударные волны от близких сверхновых, столкновение с другими облаками, гравитационные взаимодействия), под воздействием которых может нарушиться равновесие гигантского молекулярного облака и начаться коллапс. В результате происходит процесс активного звездообразования и возникает рассеянное звездное скопление.

Звезды скопления связаны друг с другом относительно слабыми гравитационными силами, поэтому по мере обращения вокруг галактического центра рассеянные скопления могут быть разрушены из-за близкого прохождения возле других скоплений или облаков газа. В этом случае образующие их звёзды становятся частью обычного населения галактики. Отдельные звёзды также могут быть выброшены в результате сложных гравитационных взаимодействий внутри скопления.

Располагаются рассеянные скопления в основном в галактической плоскости: расстояние от плоскости обычно составляет не более 100 — 300 пк. При вращении вокруг центра галактики они показывают небольшую дисперсию скоростей — около 15 км/с. Их орбиты характеризуются малым эксцентриситетом.

Рассеянные скопления обычно содержат 100 — 1000 звезд, но иногда их количество может достигать и 10^4 . Типичные массы скоплений $\sim 10^3 M_{\odot}$. Концентрация звезд в скоплениях $\lesssim 1 \text{ пк}^{-3}$. Звездный состав может быть довольно разнообразным: голубые и красные сверхгиганты, гиганты, двойные звезды, цефеиды, вспыхивающие звезды и др.

Молодые скопления являются довольно хорошими индикаторами спиральной структуры галактики.

2 Примеры

Один из самых ярких представителей рассеянных скоплений – это скопление **Плеяды** (Рис. 1). Также оно известно как один из объектов каталога Мессье – М45. На небе Плеяды можно увидеть невооруженным глазом в созвездии Тельца. Это скопление располагается на расстоянии 135 пк от Земли. Его возраст оценивается $\sim 75 \div 150$ млрд. лет. Общее число звезд скопления – около 3000.

В звездном составе Плеяд преобладают горячие голубые звезды, встречается много бурых карликов, есть белые карлики. Нужно отметить, что ввиду сравнительно небольшого возраста скопления, белые карлики вряд ли могли образоваться «обычным путем» (после сбрасывания оболочки красным гигантом), это заняло бы несколько миллиардов лет. Поэтому, вероятно, они образовались из звезд большой массы путем перетекания вещества в тесных двойных системах.



Рис. 1: Скопление Плеяды (Pleiades) [5].

На photographиях с хорошим разрешением вокруг звезд скопления видна туманность. Раньше предполагали, что это остатки вещества, из которого образовались звезды скопления. Однако за 100 миллионов лет это вещество было бы рассеяно давлением звездного излучения. Скорее всего, Плеяды сейчас просто движутся по насыщенной космической пылью области пространства.

Девять ярчайших звезд скопления получили свои имена в честь героев древнегреческой мифологии. Семь из них – сестры Плеяды, дочери Атласа и Плейоны (Рис. 2). По одному из мифов, Плеяды были помещены на небо Зевсом ради спасения от преследователя Ориона, который в свою очередь

тоже был помещен на небо, обреченный вечно их преследовать и не иметь возможности догнать на вращающемся небосклоне.

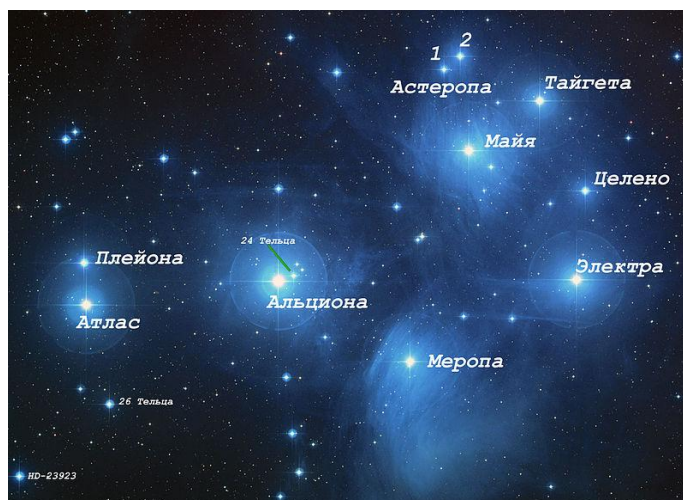


Рис. 2: Названия звезд в скоплении Плеяд [5].

Другое довольно известное рассеянное скопление – **Гиады** (Рис. 3). Оно является самым близким рассеянным звездным скоплением к Земле: расстояние до него - 46 пк. Основная его часть наблюдается в созвездии Тельца. На восточном краю Гиад расположена не относящаяся к ним яркая оранжевая звезда Альдебаран (α Тельца). Возраст скопления оценивается ~625 млн. лет. Название его также происходит из древнегреческой мифологии (Гиады – сводные сестры Плеяд, дочери Атласа и Эфры).



Рис. 3: Скопление Гиады (Hyades) [6]. Желтыми квадратами обведены одни из самых ярких звезд скопления, образующие букву «V».

На рис. 4–7 приведены примеры некоторых других рассеянных скоплений.



Рис. 4: Рассеянное скопление в Кассиопее (M 103) [7].

Расстояние до Земли 2580 пк, видимая звездная величина $\sim 7^m.0$.



Рис. 5: Скопление Ясли (Nursery), (M 44) [8]. Находится в созвездии Рака, расстояние до Земли 178 пк, видимая звездная величина $\sim 4^m.0$.



Рис. 6: Скопление Дикая утка (Wild Duck), (M 11) [9]. Находится в созвездии Щит, расстояние до Земли 1840 пк, видимая звездная величина $\sim 7^m.0$.



Рис. 7: Скопление Малый улей (Small hive), (M 41) [10].

Находится в созвездии Большой пчел, расстояние до Земли 705 пк, видимая звездная величина $\sim 5^m.0$.

3 Возраст

Рассеянные скопления показывают большую дисперсию возрастов: от нескольких миллионов лет до 5-10 миллиардов лет. Возраст звезд скопления можно определить по их спектру и светимости путем сопоставления положения звезд на диаграмме Герцшпрунга – Рассела с теоретически построенными изохронами (то есть кривыми, описывающими положение звезд равного возраста).

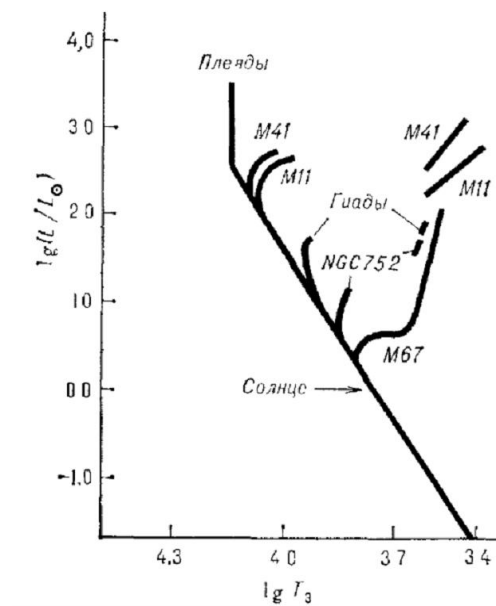


Рис. 8: Сводная диаграмма Герцшпрунга – Рассела для ряда рассеянных звездных скоплений [11].

Также можно определить возраст по «точке поворота»: для набора звезд разных масс строятся эволюционные кривые. Звезды большой массы эволюционируют быстрее и становятся красными гигантами, пока звезды малой массы еще остаются на главной последовательности. Соединив точки равного возраста, получим наблюдаемую диаграмму Г. – Р. В точке поворота массивные звезды покидают главную последовательность и становятся красными гигантами. Удаленность таких звезд от главной последовательности позволяет определить возраст скопления. На рис.9 скопление NGC 188 показывает большее отклонение от главной последовательности, и, следовательно, имеет больший возраст, чем М 67.

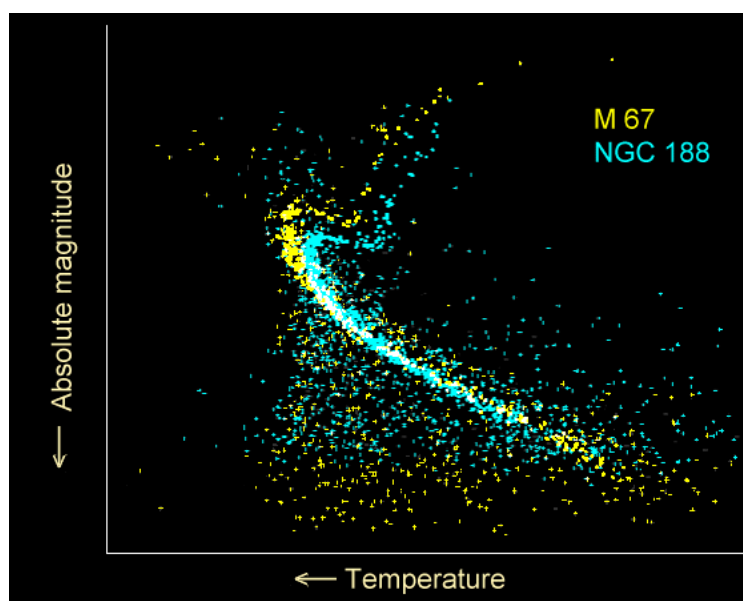


Рис. 9: Диаграммы Герцшпрунга – Рассела для двух рассеянных скоплений [12].

4 Расстояния до скоплений

Определение расстояний до звездных скоплений имеет огромное значение для исследования этих объектов, так как от принятого расстояния зависят оценки размеров и плотности скопления, а также светимости звезд, образующих эти скопления.

Для определения расстояний до скоплений можно использовать диаграмму «видимая величина – показатель цвета» в сравнении с диаграммой «абсолютная величина – показатель цвета», которая составлена по звездам того же типа близких к нам скоплений. На рис. 12 приведены эти диаграммы для скопления α Персея. Сдвиг между сравниваемыми диаграммами по

вертикали равен модулю расстояния ($m - M$), по которому при помощи формулы

$$\lg r = 0.2 (m - M) + 1$$

находят т.н. фотометрическое расстояние r звездного скопления (с относительной погрешностью $\sim 20\%$).

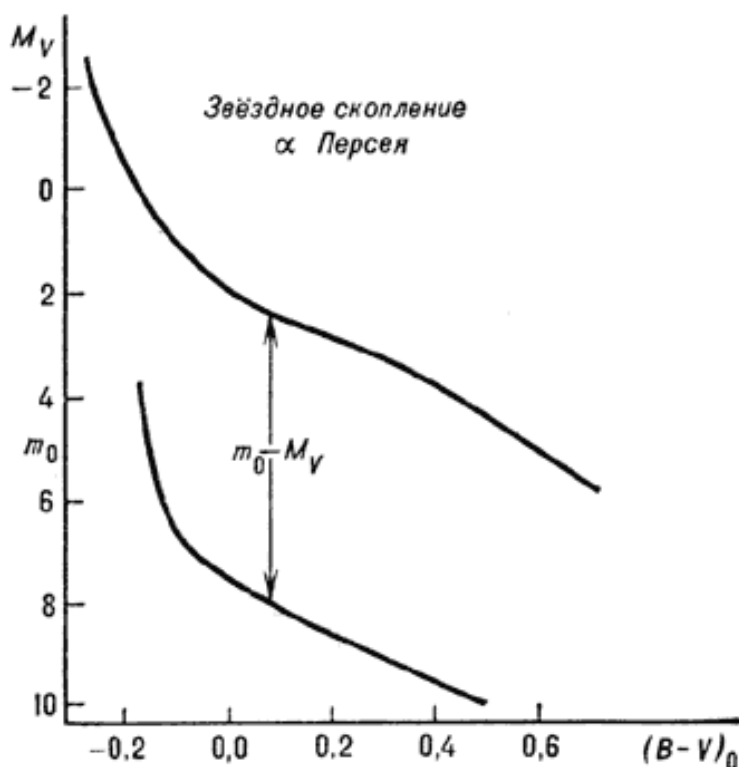


Рис. 12: Зависимость «звездная величина – показатель цвета» [14].

Важный метод определения расстояний в Галактике и до соседних звездных систем – по цефеидам. Для долгопериодических цефеид (периоды колебаний от 1 до 146 суток), относящихся к звездному населению 1 типа (плоской составляющей галактики), установлена важная зависимость период – светимость. Чем короче период колебаний блеска, тем цефеида слабее по абсолютной звездной величине. С помощью этой зависимости можно определить абсолютные величины цефеид по длительности их периодов колебания блеска. После этого можно определить фотометрическое расстояние до цефеид, а следовательно, и до скопления, в котором наблюдается данная цефеида.

5 Распределение рассеянных скоплений в Галактике

Рассмотрим распределение рассеянных скоплений в нашей Галактике по z -координате. По оси абсцисс на графиках будет отмечено расстояние скопления от оси вращения Галактики. На рис. 10 показано распределение скоплений трех групп возрастов: молодых ($\lg t < 7.2$, где t - возраст), средних ($7.2 < \lg t < 8.9$) и старых ($\lg t > 8.9$). В случае самых молодых скоплений хорошо видно, что все они расположены вблизи плоскости Галактики, максимальная z -координата здесь не превосходит 200 пк. Эти скопления имеют возраст менее 15 миллионов лет, и они не могли далеко удалиться от мест своего рождения. Отсюда можно сделать вывод, что в настоящее время звёздообразование в нашей Галактике происходит в очень тонком, по сравнению с диаметром Галактики, слое вблизи галактической плоскости.

В распределении скоплений среднего возраста мы видим, что и максимальная z -координата и среднее расстояние от плоскости Галактики у этих рассеянных скоплений заметно больше, чем у молодых.

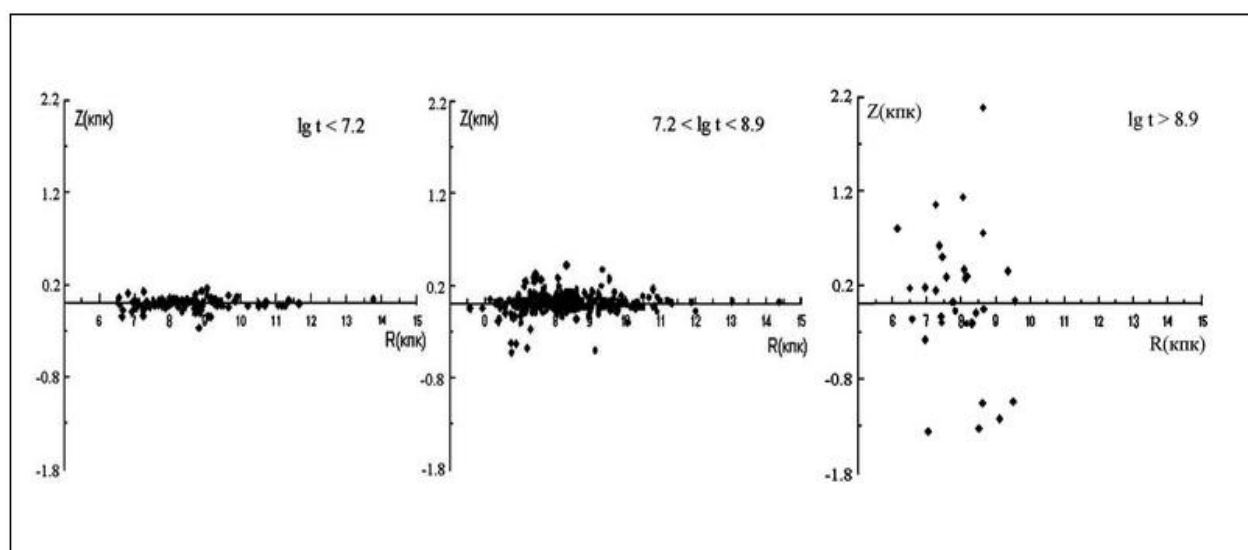


Рис. 10: Распределение рассеянных скоплений разных групп возрастов по z -координате в Галактике [13].

Еще больше отходят от плоскости Галактики наиболее старые рассеянные скопления. В их распределении даже не заметна концентрация к плоскости Галактики, и возможно, быстрее разрушаются те скопления, которые движутся вблизи галактической плоскости.

На рис. 11 представлено распределение рассеянных звездных скоплений разного возраста в проекции на плоскость Галактики.

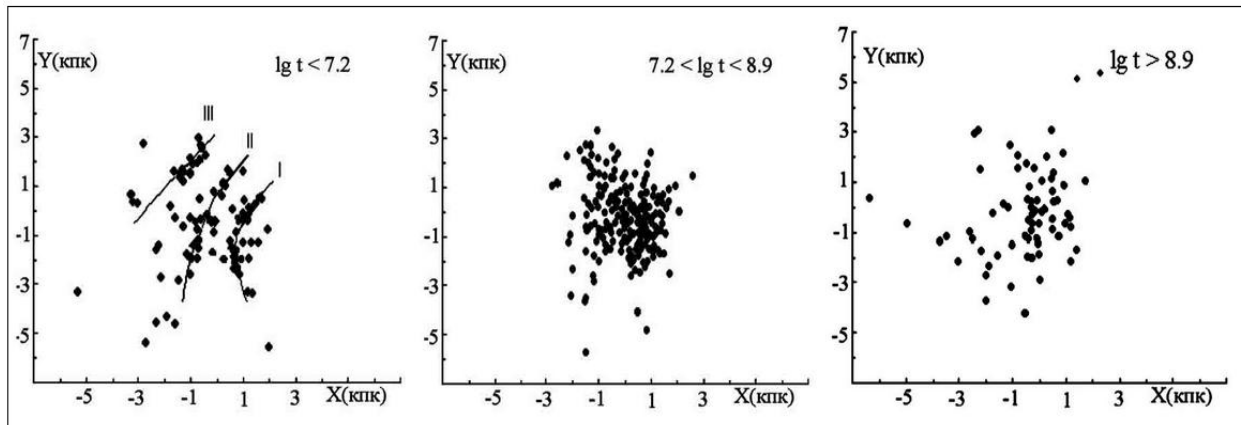


Рис. 11: Распределение рассеянных скоплений разного возраста в проекции на Галактическую плоскость [13].

На приведенных графиках по координатам (0,0) расположено Солнце (в центре графика). Направление на центр Галактики – вправо. Распределение молодых скоплений неравномерно и тяготеет к некоторым протяженным структурам. Эти структуры отождествляют с тремя отрезками спиральных ветвей (обозначенными на рисунке цифрами I, II и III). Это говорит о том, что рассеянные скопления образуются в спиральных ветвях Галактики. То есть именно спиральные ветви являются местами активного звездообразования в Галактике.

По проекции скоплений среднего возраста можно увидеть следы той же спиральной структуры, но уже едва заметные. По-видимому, скопления случайным образом уходят со временем от мест своего рождения, так что информация о структуре в начальных положениях скоплений постепенно теряется.

На проекции распределения старых скоплений заметить какой-либо структуры уже не удастся. Из этого можно оценить, за какое время скопления могут потерять информацию о пространственной структуре, образовавшейся в момент их рождения, имея в виду, что $1 \text{ км/с} \approx 1.021 \text{ пк/млн.лет}$. Средняя пекулярная скорость скоплений (случайная составляющая пространственного движения скоплений) по данным наблюдений равна 5-7 км/с. Тогда за сто миллионов лет среднее скопление может уйти от места своего рождения приблизительно на 500 - 700 пк. Так как расстояние между отрезками спиральных ветвей около одного килопарсека, то как раз 100 млн. лет и есть характерное время замывания первоначально существовавшей структуры в пространственном распределении рассеянных скоплений.

6 Химический состав

Химический состав определяется по эквивалентным ширинам линий поглощения в спектрах звезд. Самые яркие звезды рассеянного скопления – это, как правило, звезды спектрального класса В или А, и лишь в самых молодых скоплениях – голубые сверхгиганты (класс О). Химический состав рассеянных скоплений достаточно однороден – металличность (содержание в звездах элементов тяжелее гелия) скоплений различается не более, чем в 5 раз и в среднем близка к солнечной.

Металличность рассеянных скоплений уменьшается с увеличением расстояния от центра Галактики и от плоскости диска.

У старых скоплений металличность в среднем меньше.

Для исследования химической эволюции галактического диска было проведено моделирование скоплений диска. Предполагались различные модели для SFR (скорость звездообразования), AMR (соотношение возраст-металличность) и градиента металличности. Полученные свойства сравнивались со свойствами реального скопления. С помощью алгоритма Монте-Карло генерировали скопления, их положение, массу и металличность. Один из тестов показал, что для постоянной SFR получаются хорошие данные для скоплений (за исключением двух небольших интервалов). Эта скорость равнялась $0.9 \pm 0.1 M_{\odot}/\text{год}$. Далее, используя полученное SFR, проверяли следующие предположения: случайно ли распределение металличности, есть ли линейная зависимость возраст – металличность, существует ли радиальный градиент металличности. В результате было обнаружено существование радиального градиента металличности: $[Fe/H](R) = 0.75 - 0.09 \text{ кпк}^{-1}R$.

7 Роль рассеянных скоплений

Изучение рассеянных скоплений играет очень важную роль в теории внутреннего строения и эволюции звезд. Большие различия в возрасте звезд разных скоплений и близость их в одном и том же скоплении позволяют непосредственно сравнивать выводы теории эволюции звезд с данными наблюдений. Так, генетическая связь красных гигантов и звезд ГП, давшая значительный толчок развитию теории внутреннего строения звезд, была получена на основе анализа диаграмм Герцшпрунга-Рассела для рассеянных скоплений.

Для теории образования звезд очень важны наблюдения молодых и рождающихся звезд в рассеянных скоплениях. Статистическое исследование звезд в молодых скоплениях дают нам информацию о начальной функции масс – распределении образующихся звезд по массам. Для звезд с массами 1-

25 M_{\odot} начальная функция масс определена наиболее надежно, она может быть представлена степенной функцией $f(m) \sim m^{-7/3}$.

Возможность надежно определять расстояния до рассеянных скоплений, их возраст, химический состав и другие параметры помогает решать широкий класс задач по изучению структуры и эволюции Галактики, по определению характеристик звезд с повышенной металличностью, цефеид, белых карликов и других интересных объектов, а также построения шкал спектральной и фотометрической калибровок.

Список литературы

- [1] Засов А. В., Постнов К. А., Общая астрофизика, Век 2, М., 2006.
- [2] Зельдович Я. Б., Блинников С. И., Шакура Н.И., Физические основы строения и эволюции звезд, МГУ, 1981.
- [3] T. E. Tecce, L. J. Pellizza, and A. E. Piatti Chemical evolution of the galactic disk via simulations of the open cluster system, 2006: Instituto de Astronomia, UNAM – XI IAUU Regional Latin American Meeting of Astronomy.
- [4] Энциклопедия Физика космоса, М., Советская энциклопедия, 1986.
- [5] <https://www.google.ru/search?q=плеяды>
- [5] www.astronet.ru/db/msg/1162933
- [6] <https://www.google.ru/search?q=гиады>
- [7] <https://www.google.ru/search?q=M+103+рассеянное+скопление>
- [8] <https://www.google.ru/search?q=M+44+рассеянное+скопление>
- [9] <https://www.google.ru/search?q=M+11+рассеянное+скопление>
- [10] <https://www.google.ru/search?q=M+41+рассеянное+скопление>
- [11] Физика космоса. Маленькая энциклопедия. Стр.569
- [12] http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Open_cluster_HR_diagram_ages.gif?uselang=ru
- [13] <http://www.astronet.ru/db/msg/1245721/lec.7.4.html>
- [14] <http://www.astronet.ru/db/msg/1188617>

