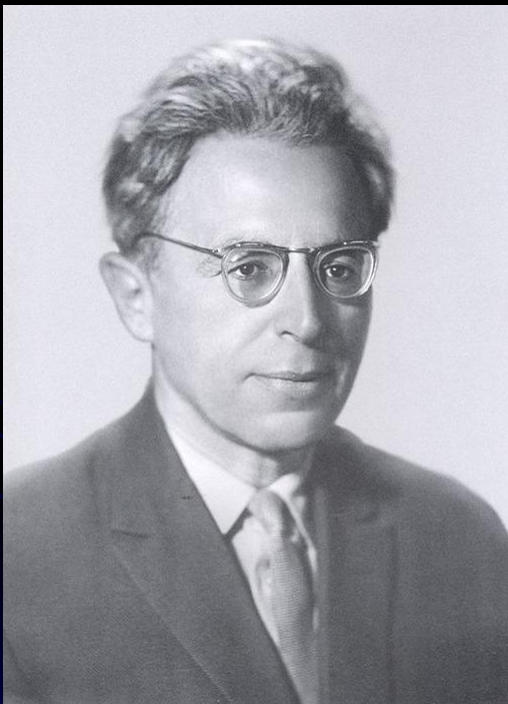


ЗВЕЗДЫ И ЗВЕЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ



Роль звезд в эволюции Вселенной

Звезда — это гравитационно связанная непрозрачная для излучения масса вещества, светимость которой в основном поддерживается происходящими в ней термоядерными реакциями.



Иосиф Самуилович
Шкловский

«Самые главные объекты во Вселенной – звезды. Почему? Потому, что 97% вещества в нашей Галактике сосредоточено в звездах. У многих, если не у большинства, других галактик «звездная субстанция» составляет более чем 99,9% их массы. На современном этапе эволюции Вселенной вещество в ней находится преимущественно в звездном состоянии. Это означает, что большая часть вещества Вселенной «скрыта» в недрах звезд и имеет температуру порядка десятка миллионов градусов при очень высокой плотности...»

А что мы знаем сейчас?

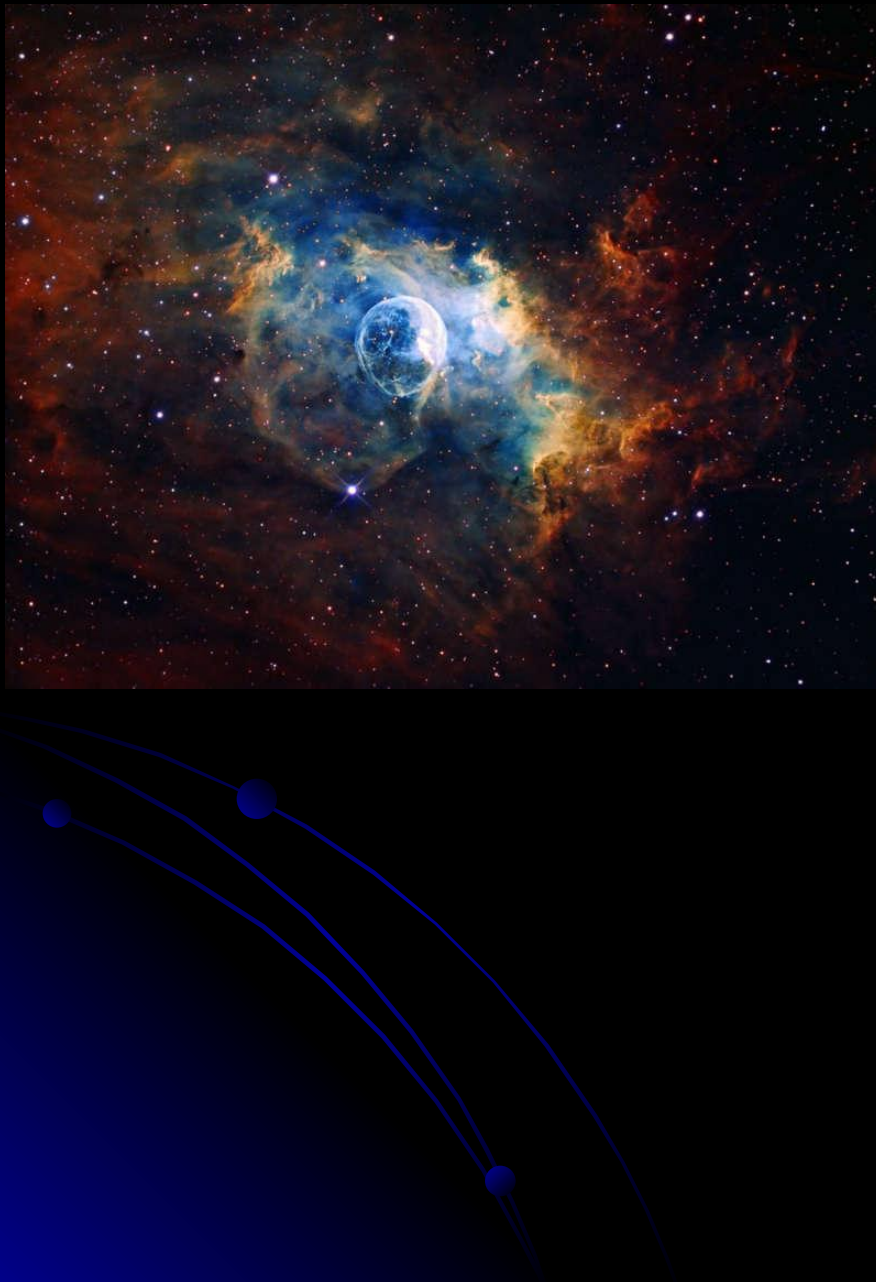
- Около 74% - неведомая антигравитирующая сущность, которую называют «темная энергия».
- Если же ограничиться обычной гравитирующей массой, на которую приходится около четверти средней плотности Вселенной, то примерно 22% заключено в «темном веществе» неизвестной природы и только 4% - в обычном веществе, представленном в таблице Менделеева. Именно в эти 4% уместятся все звезды, планеты, межзвездная и межгалактическая среда.
- Но и в этой 4-процентной группе роль звезд оказалась не самой важной. Почти 4/5 массы вещества заключено в межгалактическом газе. Даже если не принимать в расчет темную энергию и темную материю, то в подгруппе обычного вещества звездам принадлежит всего около 10%!

Тезис о том, что Вселенная — это звезды, оказался неверным!

До сих пор астрономы не знают точно, как произошло деление почти однородного вещества Вселенной на звезды, но каким-то образом это случилось: когда возраст Вселенной еще не достиг 1 млрд. лет, почти все ее барионное вещество оказалось разбито на плотные газовые шары с характерной массой 10^{30} кг, объединенные в галактики с массами порядка 10^{41} кг.

Основная эволюция вещества Вселенной происходила и происходит в недрах звезд. Именно там находится тот плавильный котел, который обусловил химическую эволюцию вещества во Вселенной, обогатив его тяжелыми элементами. Именно там вещество превращается из идеального газа в нейтронную материю. Огромное значение имеет исследование взаимосвязи между звездами и межзвездной средой, включающее проблему непрерывного образования звезд из конденсирующейся межзвездной среды.

Наличие звезд подчеркивает необратимость процессов эволюции вещества во Вселенной! Ведь звезды в основном излучают за счет необратимого превращения водорода в более тяжелые элементы. Постоянно накапливающиеся во Вселенной конечные продукты эволюции звезд - белые карлики, нейтронные звезды и черные дыры также подчеркивают необратимый характер эволюции Вселенной.



Главным двигателем эволюции по-прежнему считаются звезды.

Звёздный ветер — процесс истечения вещества из звёзд в межзвёздное пространство. Звёздный ветер может играть важную роль в звёздной эволюции: так как в результате этого процесса происходит уменьшение массы звезды, то от его интенсивности зависит срок жизни звезды.

Звёздный ветер является способом переноса вещества на значительные расстояния в космосе. Помимо того, что он сам по себе состоит из вещества, истекающего из звёзд, он может воздействовать на окружающее межзвёздное вещество, передавая ему часть своей кинетической энергии. Так, форма эмиссионной туманности NGC 7635 «Пузырь» образовалась в результате такого воздействия.

Место звезд в Галактике

Звездной плотностью называется число звезд, находящихся в единице объема пространства. За единицу обычно принимают 1 кубический парсек (пк^3). В окрестностях Солнца плотность вещества составляет около 0,12 массы Солнца на 1пк^3 . Или на каждую звезду типа Солнца в среднем приходится чуть более 8пк^3 ; среднее же расстояние между звездами 2 пк.

Считаем число звезд на единице площади (например, на 1 кв. град) в различных участках неба.

Бросается в глаза необычайно сильное увеличение звездной плотности по мере приближения к полосе Млечного Пути, средняя линия которого близка к некоторому большому кругу на небесной сфере. Солнце расположено на 20-25 пк выше (севернее) плоскости симметрии нашей галактики. По мере приближения к полюсу этого круга звездная плотность быстро уменьшается. Эти факты уже в конце XVIII в. позволили У. Гершелю сделать правильный вывод о том, что наша звездная система имеет сплюсненную форму, причем Солнце недалеко от плоскости симметрии этого образования. И по мере удаления от Солнца в каждом направлении звездная плотность убывает. Если в этом направлении межзвездное поглощение света несущественно, то можно оценить расстояние, на котором произойдет существенное уменьшение звездной плотности, и тем самым определить условную границу Галактики. Зная звездную плотность на разных расстояниях и в различных направлениях, можно составить представление о структуре Галактики. По направлению к центру Галактики, а также по мере приближения к ее плоскости звездная плотность возрастает и в центре достигает 10^5 - 10^6 звезд в 1пк^3 .

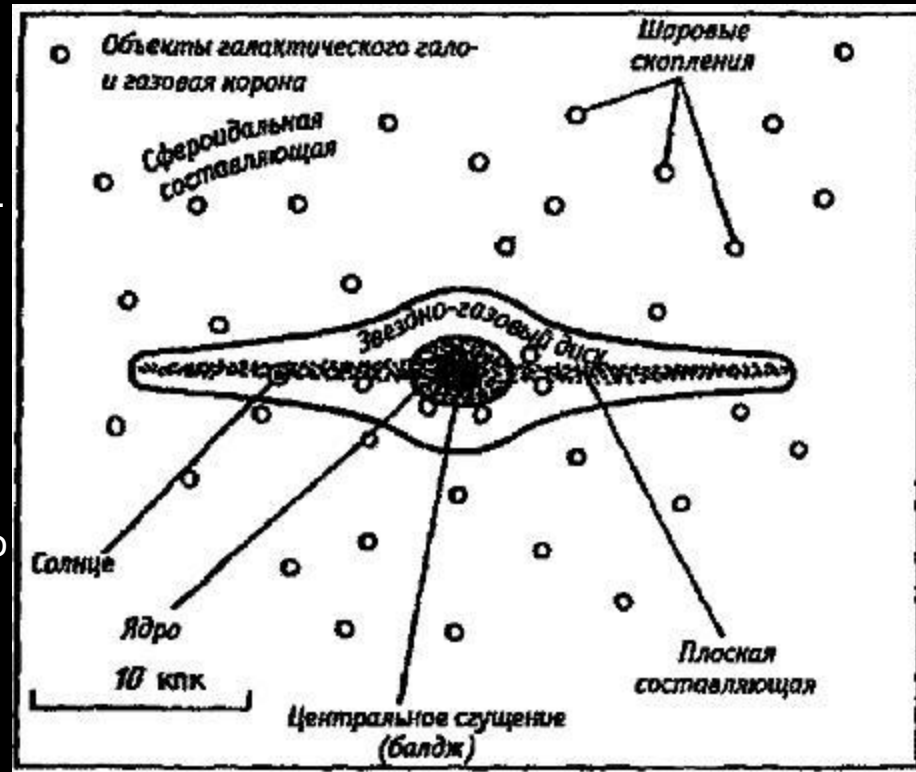
Концентрация к центру Галактики (усиливается по мере приближения к центральной области, называемой центральным сгущением Галактики – **балджем**). Диаметр этого сгущения порядка 1-2 кпк. В его центре выделяют еще более компактное **ядро**.

Размер видимого диска Галактики составляет около 30 кпк.

Самые молодые объекты (ранние спектральные классы O и B, цефеиды, сверхновые звезды второго типа, рассеянные звездные скопления, звездные ассоциации, пыль и газ) образуют наиболее тонкий диск толщиной 100-200 пк. Это **плоская составляющая** нашей Галактики. Старые звезды

и связанные с ними планетарные туманности образуют более толстый диск толщиной в несколько сотен парсеков (**звездный диск Галактики**).

Звезды типа RR Лиры и W Девы, субкарлики и шаровые скопления гораздо слабее концентрируются к галактической плоскости. Их принято относить к гало, или **сфероидальной (сферической) составляющей**.



Они обнаруживают сильную концентрацию к центру Галактики. **Сфероидальная составляющая** постепенно переходит в сферическое **гало**, объекты которого могут встречаться до расстояний 50-100 кпк от центра. Их пространственное распределение можно описать степенным законом вида r^{-n} с показателем степени $n = 3 - 3,5$.

Шаровые скопления

Шаровое звёздное скопление — звёздное скопление, отличающееся от рассеянного скопления бóльшим количеством звёзд, чётко очерченной симметричной формой, близкой к сферической, и увеличением концентрации звёзд к центру скопления. Пространственные концентрации звёзд в центральных областях шаровых скоплений составляют 100—1000 звёзд на пк³ (в окрестностях Солнца звёздная плотность в 700-7000 раз меньше), количество звёзд $\approx 10^4$ — 10^6 . Диаметры шаровых скоплений составляют 20—60 пк (от 50 до 300 световых лет), массы — 10^4 — 10^6 солнечных.



Впервые выделил шаровые скопления как особый класс объектов в начале XIX века У. Гершель. Шаровые скопления обращаются вокруг центра масс галактики по сильно вытянутым орбитам со скоростями ≈ 200 км/с и периодом обращения 10^8 — 10^9 лет. Возраст шаровых скоплений нашей Галактики приближается к её возрасту. Это удивительно, но по моделям их возраст может превосходить космологический возраст Вселенной! Объяснить несоответствие возрастов можно пока неполным пониманием тонкостей эволюции звезд и Вселенной.

Звезды в ШС находятся примерно на расстоянии 6 световых месяцев друг от друга, а в ядрах скоплений расстояние сокращается до 2 световых месяцев.

Расстояния до ШС определяют по переменным (цефеидам), находящимся в скоплении.

Светимость этих скоплений обычно в сотни и тысячи раз больше, чем у рассеянных звездных скоплений. И это несмотря на то, что в них нет ярких звезд.

Первый туманный объект, который в настоящее время причисляют к шаровым звездным скоплениям, открыл в 1665 году в созвездии Стрельца немецкий астроном А. Иль.

В начале прошлого столетия американский астроном Х. Шепли окончательно установил, что между типичными шаровыми и рассеянными скоплениями **есть важные различия** в том, из каких звезд они состоят. Различия были признаны столь существенными, что сейчас звездные скопления в нашей Галактике классифицируют как шаровые или рассеянные **только на основании звездного состава, без учета внешнего вида.**

Звездные скопления в основном обозначаются их порядковыми номерами в каталоге Мессье (M) или Новом генеральном каталоге скоплений и туманностей (NGC).

Самые распространенные обозначения для слабых шаровых скоплений – Новый генеральный каталог (NGC) Й. Дрейера.

В 20-е годы XIX века впервые были обнаружены звездные скопления, принадлежащие другим галактикам (Магеллановым Облакам). Это сделал Дж. Данлоп.

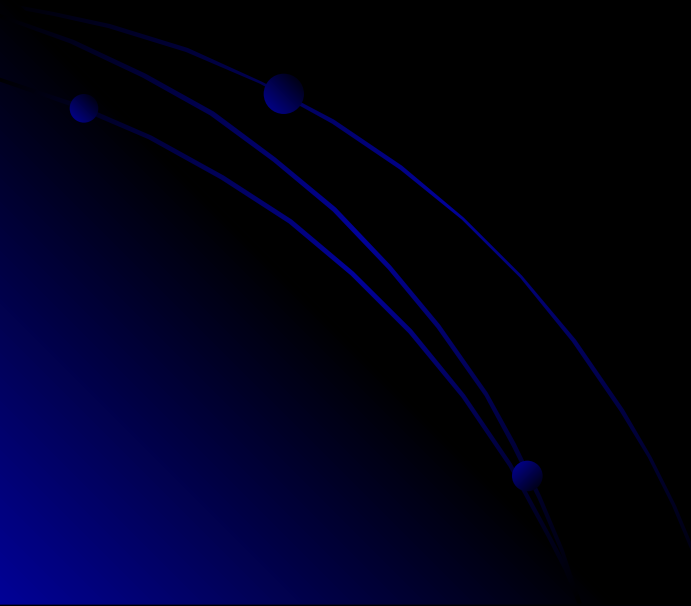
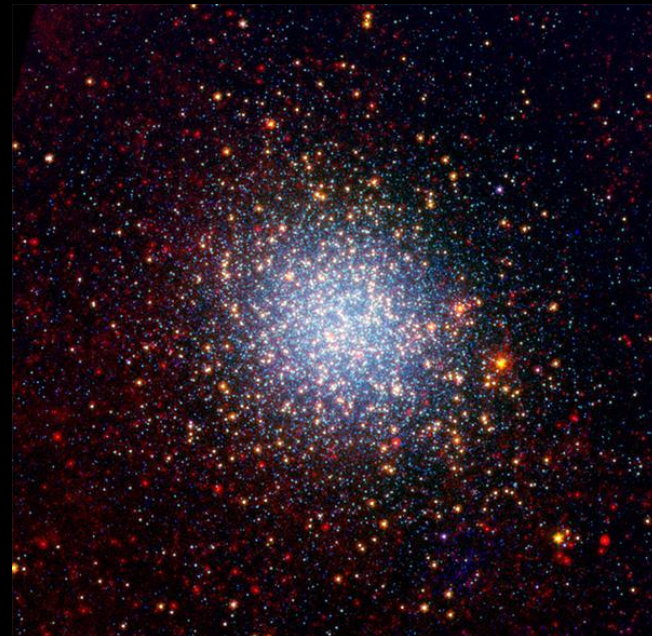


Харлоу Шепли



Шарль Мессье

Шаровые скопления не встречаются в звездных окрестностях Солнца. Лишь в Южном полушарии неба невооруженным глазом можно наблюдать два шаровых скопления (47 Тукана и ω Центавра), едва видимых как слабые звездочки. ω Центавра содержит около миллиона звезд в сферическом регионе диаметром примерно 160 световых лет на расстоянии меньше 20 000 световых лет от Земли.



Наблюдения шаровых скоплений показывают, что они возникают в основном в регионах с эффективным звездообразованием, то есть там, где межзвёздная среда имеет более высокую плотность. Образование шаровых скоплений преобладает в регионах со вспышками звездообразования и во взаимодействующих галактиках.

Также исследования показывают существование связи между массой центральной сверхмассивной чёрной дыры и размерами шаровых скоплений в эллиптических и линзовидных галактиках. Масса чёрной дыры в таких галактиках часто близка к суммарной массе шаровых скоплений галактики.

Считается, что шаровые скопления не являются благоприятным местом для существования планетных систем, поскольку орбиты планет в ядрах плотных скоплений динамически неустойчивы из-за возмущений, вызываемых прохождением соседних звёзд. Планета, вращающаяся на расстоянии 1 а. е. от звезды в ядре плотного скопления, теоретически могла бы просуществовать только 100 млн лет. Тем не менее учёными обнаружена планетная система около пульсара PSR B1620-26 в шаровом скоплении M4, однако эти планеты, вероятно, образовались после события, приведшего к образованию пульсара.

Некоторые шаровые скопления, например, Омега Центавра в Млечном Пути и Mayall II в галактике Андромеда, чрезвычайно массивны (несколько миллионов солнечных масс) и содержат звёзды из нескольких звёздных поколений. Эти оба скопления можно считать свидетельством того, что сверхмассивные шаровые скопления являются ядром карликовых галактик, поглощённых гигантскими галактиками. Около четверти шаровых скоплений в Млечном Пути, возможно, были частью карликовых галактик.



Движение звезд

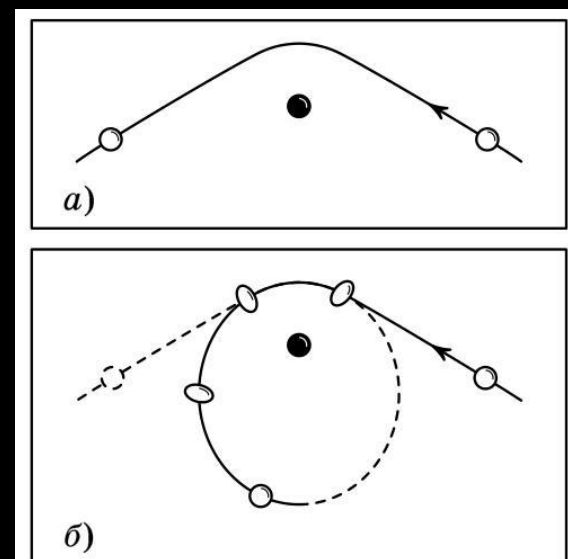
Скопления при движении вокруг центра Галактики, подходящие к нему слишком близко, сравнительно быстро разрушаются под действием приливных сил, возбуждаемых притяжением галактического ядра. Звездное скопление в принципе не может быть стационарным: звезды с большими скоростями вылетают из него и уже не возвращаются.

И для этого есть три основные причины.

- ✓ кинетическая энергия: легкие движутся быстрее.
- ✓ согласно статистическим законам распределения, не все звезды имеют одинаковую (среднюю) скорость, встречаются также менее быстрые и более быстрые звезды.
- ✓ взаимодействие трех и более звезд. Например, две звезды объединяются в медленно движущуюся гравитационно связанную систему, а третья звезда, унося энергию связи, выстреливается прочь.

Ближний пролет двух звезд

Если в процессе пролета они остаются шарообразными, то притягиваются по закону Ньютона, а, значит, движутся по гиперболическим траекториям и после сближения вновь расходятся на «бесконечность». На самом деле приливное влияние искажает форму звезд – они становятся вытянутыми эллипсоидами. Пусть одна звезда очень массивная, жесткая и неподвижная, а вторая звезда подлетает к ней издалека. Звезда вытягивается приливом, а поскольку звезды движутся, приливный горб пытается отследить направление между ними. Но в силу инерции и вязкости горб не может точно следовать повороту звезд: он сначала запаздывает, а потом опережает его. В результате более близкий горб притягивается сильнее, а значит, есть составляющая силы притяжения, тормозящая движение звезды по орбите и уводящая ее с простой гиперболической траектории. Звезда переходит на эллиптическую орбиту и оказывается привязанной к той звезде, с которой она случайно сблизилась. Так может образоваться двойная система. Компактные, хорошо связанные двойные системы после встречи с одиночными звездами становятся еще лучше связаны; а широкие, слабо связанные двойные звезды после таких встреч обычно распадаются. Иногда может произойти замена одного из компонентов. В большинстве случаев легкая звезда заменяется более массивной.



Ближний пролёт двух звёзд без учёта (а) и с учётом (б) приливного эффекта. Для простоты одна из звёзд изображена неподвижной и абсолютно жёсткой, недеформируемой.

Если звезда немного уменьшит свою скорость, то она начинает падать к центру скопления. Поэтому массивные звезды, обмениваясь с более легкими звездами энергией, тормозятся и направляются к центру скопления. А менее массивные, наоборот, увеличивают скорость и направляются к внешним частям скопления или вообще покидают его. Можно говорить об **испарении шаровых скоплений**. Процесс испарения идет быстрее в компактных, он не очень массивных скоплениях. Через несколько десятков миллиардов лет не останется ни одного такого скопления. Компактность или рыхлость скопления обусловлена местом его рождения в Галактике. Чем ближе к центру Галактики родилось скопление, тем оно должно быть компактнее, а значит, быстрее будет разрушаться, причем первыми погибают самые легкие.

Теория: вдали от центра Галактики может сохраниться длительное время любое скопление, а вблизи центра Галактики выживают только компактные и при этом массивные скопления.

Наблюдения: так и есть!



Динамическое трение

Через пространство, наполненное маленькими легкими звездами, летит массивное звездное скопление. Каждая звезда, притягиваясь к этому объекту, облетает его сзади по гиперболической траектории. Значит звезды, которые впереди скопления были рассеяны однородно, позади него уплотняются в хвост и создают избыточную плотность. Сила притяжения этого хвоста тормозит скопление. С сохранением энергии все в порядке: она передается встречным звездам, которые после облета массивного объекта получают прибавку к скорости. Эффект динамического трения приводит к тому, что звездное скопление, двигаясь в Галактике, хотя и не испытывает прямых соударений с окружающими звездами, но все равно тормозится, теряет энергию и постепенно, по спиральной траектории приближается к центру Галактики. Поэтому за конечное время все шаровые скопления нашей Галактики, а в первую очередь - самые массивные, должны упасть к центру нашей звездной системы, если они до этого не испарятся. Наблюдения находятся в согласии с теорией: чем дальше от центра, тем более массивные скопления выживают, а вблизи центра Галактики их уже нет.

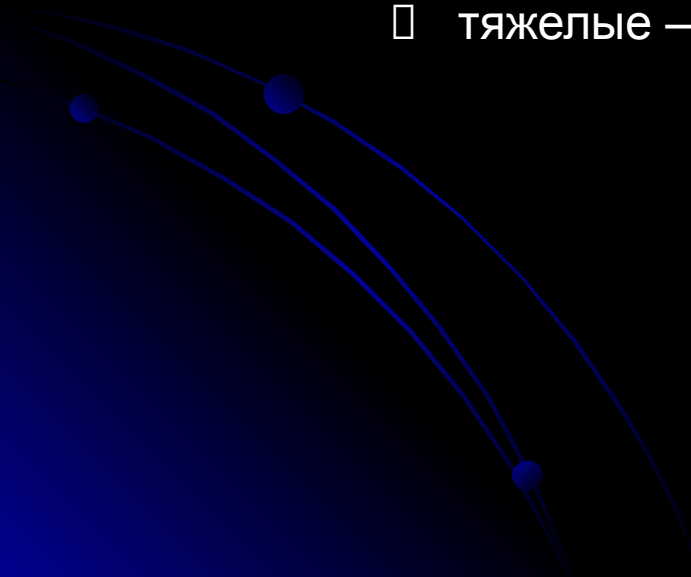


Таким образом, под действием двух эффектов:

- ❖ испарения звезд
- ❖ торможения за счет динамического трения

скопления движутся по некоторым траекториям:

- легкие скопления испаряются,
- тяжелые – падают к центру Галактики.



А где газ???



В шаровых скоплениях немало красных гигантов, которые не могут не терять вещество из своих протяженных атмосфер. Как можно обнаружить это газовое вещество? Оно должно в основном состоять из водорода, и его можно попытаться выявить по радионаблюдениям, по наблюдениям линий в суммарном спектре скопления в оптическом диапазоне. Пыль должна излучать инфракрасные лучи, это излучение тоже можно попробовать обнаружить. Все эти методы неоднократно применялись. В большинстве случаев не удавалось обнаружить вовсе диффузного вещества. Если же оно было обнаружено, то его количество никогда не превосходило 0,02 массы Солнца. В скоплении 47 Тукана обнаружено излучение, соответствующее наличию в нем миллионной доли солнечной массы в форме пыли!

Наиболее правдоподобным механизмом удаления диффузного вещества из скопления представляется его взаимодействие с диффузным веществом Галактики не только при прохождении через галактическую плоскость, но и при движении скопления через гало Галактики. Если газовое вещество скоплений активно взаимодействует с газом галактической среды, о чем свидетельствует рентгеновское излучение, то газ будет активно выталкиваться из скоплений.

Диаграмма Г-Р для шаровых скоплений

У шаровых скоплений на диаграмме Г-Р вправо от главной последовательности находятся звезды с массой примерно равной солнечной, которые продвигаются вверх и вправо по ветви гигантов до тех пор, пока в центре звезды не начинается **ядерное горение гелия**. После этого звезды перепрыгивают скачком на горизонтальную ветвь и располагаются на ней в зависимости от своей массы и химического состава. Эволюционного движения вдоль горизонтальной ветви, вероятно, не происходит, и эта ветвь является неким аналогом начальной главной последовательности для звезд малых масс с ядерным горением гелия в их недрах. Пожалуй, еще не существует устоявшейся интерпретации этой горизонтальной ветви. На диаграммах Г-Р для некоторых скоплений, например для М3, над точкой поворота главной последовательности находится группа звезд, отставших от других в общем эволюционном движении вправо. Для их обозначения часто используется термин «страглеры», что в переводе с английского означает «отставшие». Была выдвинута гипотеза, что они являются звездами второго галактического поколения, то есть недавно образовавшимися в скоплении и не успевшими, поэтому отойти от главной последовательности на диаграмме Г-Р. Однако образоваться в скоплении им не из чего.

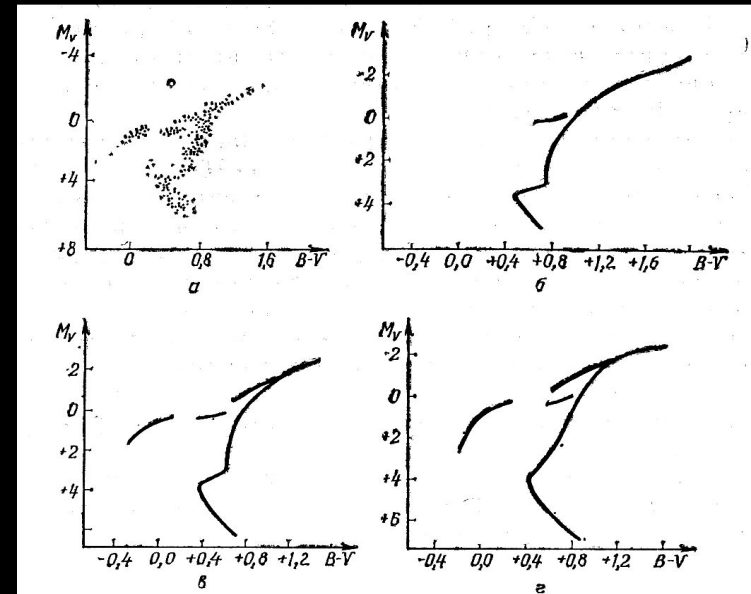


Диаграмма цвет — светимость: *a* — для шарового скопления М 3 (кружочком отмечена цефеида); *b* — для шаровых скоплений 47 Тукана, М 71 и М 69, богатых тяжелыми элементами; *c* — для шаровых скоплений М 3, М 72 и М 5 со средним содержанием тяжелых элементов; *d* — для шаровых скоплений М 13 и М 80, ω Кентавра и NGC 6752, бедных тяжелыми элементами

Возможно «страглеры» задержались на главной последовательности из-за того, что они, входят в состав тесных двойных систем, в которых осуществляется интенсивный обмен веществом между компонентами. Они могут оказаться звездами, захваченными скоплениями при пролете через густо населенные звездами области галактического диска.

Масса, химический состав и возраст – основные характеристики звезд!

Две последние можно считать одинаковыми для всех звезд, входящих в данное скопление. Следовательно, все разнообразие их свойств определяется только **различием в массах**.

Доля тяжелых элементов в звездах шаровых скоплений колеблется от 0,1 до 0,01%. Это отличие объясняется различием условий в Галактике, в которых образовывались рассеянные и шаровые скопления. Последние сформировались в сферической газовой протогалактике, вещество которой еще не было обогащено тяжелыми химическими элементами, а рассеянные скопления – из обогащенными тяжелыми элементами газа, осевшего в плоскости вращения Галактики – в ее диске.

Различие в химическом составе оценивается по ультрафиолетовому избытку в показателе цвета: спектральные линии тяжелых элементов преимущественно располагаются в коротковолновой части оптического спектра.

Минимальное содержание тяжелых элементов наблюдается именно у старых скоплений сферической составляющей Галактики, движущихся по очень вытянутым орбитам. У столь же старых шаровых скоплений, расположенных в диске, содержание тяжелых элементов в 10 раз больше, чем у скоплений сферической составляющей, но все же в 10 раз меньше, чем у рассеянных скоплений.

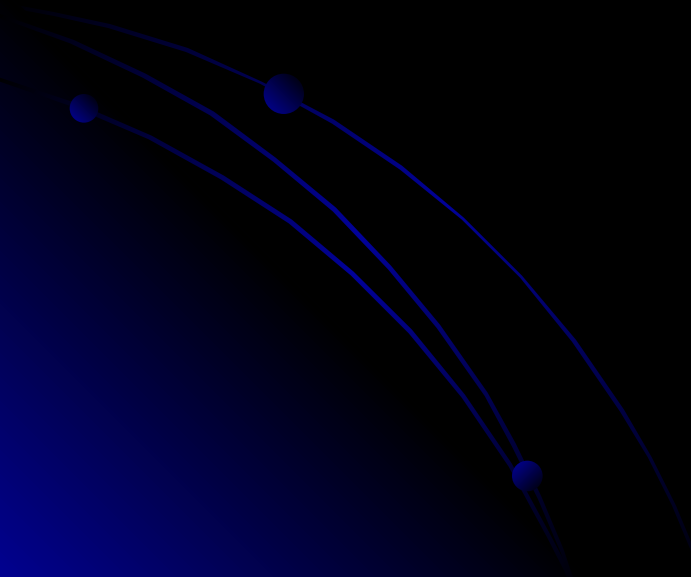
Обычно можно считать, что все звезды одного скопления родились вместе, но в момент рождения имели неодинаковую массу. Чем больше масса звезды, тем быстрее протекает ее эволюция. Да и сами пути эволюции звезд высокой и низкой массы не совсем одинаковы.

Различие в химических составах звезд ШС для некоторых звезд можно объяснить выносом вещества к поверхности, которое уже прошло переработку в термоядерных реакциях, идущих в звездных недрах. В других случаях считают, что облако, из которого образовалось скопление, было химически неоднородным.

Рассеянные скопления

Рассеянное звёздное скопление — звёздное скопление, в котором, в отличие от шарового, содержится сравнительно немного звёзд, и часто имеющее неправильную форму. В нашей и подобных ей галактиках, рассеянные скопления являются коллективными членами и входят в плоскую подсистему. Их возраст составляет лишь несколько десятков миллионов лет. Диаметр же рассеянных скоплений — от нескольких световых лет до 50 и более.

Рассеянные скопления встречаются в диске Галактики. Всего известно около 1500 таких объектов в радиусе нескольких кпк от Солнца. В нашей звездной системе должно быть несколько десятков тысяч таких скоплений.



Рассеянные скопления звезд бывают близкие и далекие, молодые и старые, концентрированные и не очень. Рассеянные скопления обычно содержат от 100 до 10 000 звезд, сформировавшихся примерно в одно время. В самых молодых рассеянных скоплениях обычно присутствуют яркие голубые звезды. Скопление M35, расположенное на рисунке вверху слева, относится к числу сравнительно близких (расстояние до него 2 800 световых лет), относительно молодых (его возраст 150 миллионов лет) и достаточно разреженных (содержит 2500 звезд в объеме с поперечником 30 световых лет). Более старое и компактное рассеянное скопление, NGC 2158, располагается на рисунке внизу справа. Скопление NGC 2158 находится в 4 раза дальше, чем M35, более чем в 10 раз старше и намного компактнее - оно содержит гораздо больше звезд приблизительно в том же объеме пространства. Яркие голубые звезды в NGC 2158 уже проэволюционировали и взорвались. В скоплении остались в основном звезды более старые и желтые. Оба скопления находятся в созвездии Близнецов. M35 можно увидеть в бинокль, а NGC 2158 -- в небольшой телескоп.

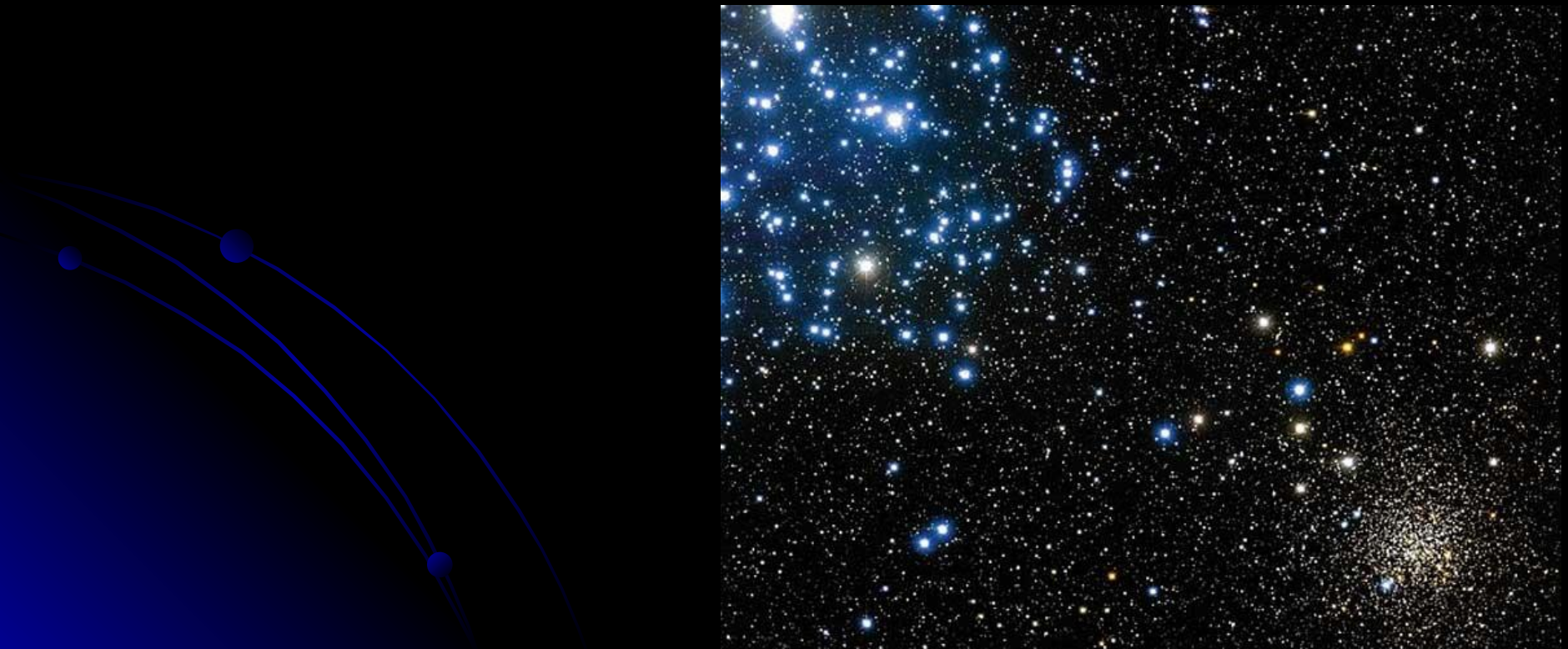
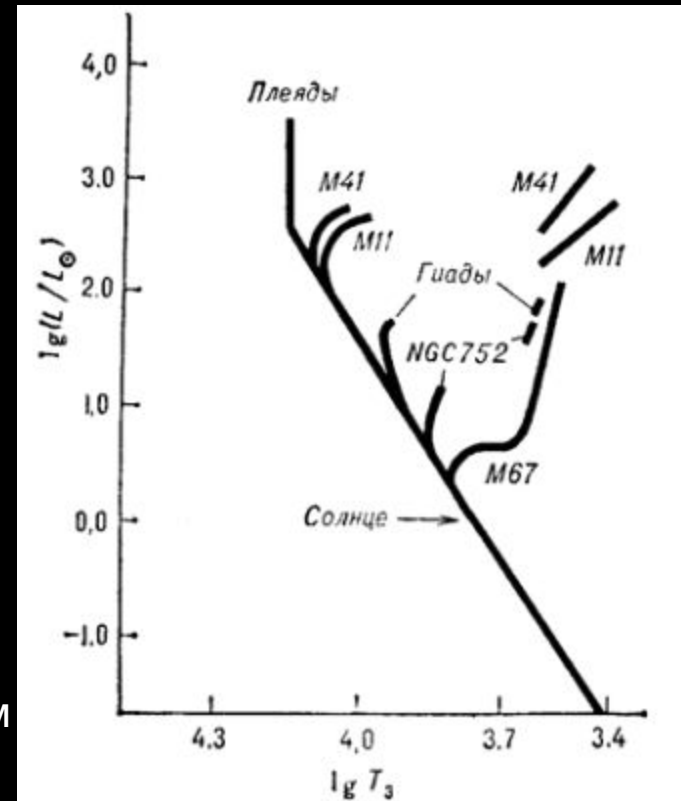


Диаграмма Г-Р для рассеянных скоплений

На диаграмме Г-Р хорошо выделяется главная последовательность, а на диаграмме для более старых скоплений, имеющих возраст более 150-200 млн. лет, и ветвь гигантов, которая для молодых скоплений отсутствует.

У молодых рассеянных скоплений, ассоциирующихся со спиральными рукавами галактики, характерный состав. В них редко встречаются красные и жёлтые гиганты и совершенно нет красных и жёлтых сверхгигантов. В то же время белые и голубые гиганты, сами по себе являющиеся редкими видами звёзд, в рассеянных скоплениях встречаются гораздо чаще. Также, в рассеянных скоплениях чаще, чем в других местах Галактики, можно встретить и ещё более редкие звёзды — белые и голубые сверхгиганты, то есть, звёзды чрезвычайно высокой светимости и температуры, излучающие в сотни тысяч и даже миллионы раз больше, чем наше Солнце.

Эффективная температура — параметр, характеризующий светимость (полную мощность излучения) небесного тела, т. е. это температура абсолютно чёрного тела с размерами, равными размерам небесного тела и излучающего такое же количество энергии в единицу времени.



Сводная диаграмма Г-Р для ряда хорошо изученных рассеянных звездных скоплений (получена совмещением ГП разных скоплений с ГП скопления Гиады). Стрелкой показано положение Солнца, $T_{\text{э}}$ - эффективная температура, L - светимость.

Гиады

Гиады (греч. — «дождливые») — рассеянное звёздное скопление, видимое невооружённым глазом. Ярчайшие звёзды скопления образуют фигуру, похожую на букву «V» вместе с оранжевым Альдебараном, ярчайшей звездой Тельца. **Сам Альдебаран в скопление не входит, а только проецируется на Гиады!**



Гиады располагаются всего лишь в 150 световых годах от Земли и являются самым близким рассеянным звёздным скоплением. Диаметр Гиад составляет 75 световых лет, центральная группа звёзд скопления занимает сферу диаметром примерно 10 световых лет. Согласно диаграмме Г — Р, его возраст составляет 625 ± 50 миллионов лет. Скопление получило своё название в честь Гиад из древнегреческой мифологии — пятерых дочерей Атланта, сводных сестёр Плеяд.

Плеяды

Плеяды (M45; иногда также используется собственное имя Семь сестёр, старинное русское название — Стожары или Волосожары, в Библии и Торе — Хима) — одно из ближайших к Земле и одно из наиболее заметных для невооружённого глаза звёздных скоплений.

Расстояние от Земли до скопления Плеяд приблизительно в 135 пк. Звёздное скопление Плеяд имеет около 12 световых лет в диаметре и содержит около 1000 звёзд, принадлежность которых к нему установлена статистически надёжно. Из них многие являются кратными. По оценкам, общее число звёзд скопления около 3000. Преобладают там горячие голубые звёзды. Невооружённым глазом можно увидеть до 14 из них. Общая масса звёзд скопления оценивается в примерно 800 масс Солнца. Возраст скопления по разным оценкам колеблется от 75 до 150 млн. лет.



Девять ярчайших звёзд скопления получили свои имена в честь семи сестёр Плеяд древнегреческой мифологии: Алкиона, Келено, Майя, Меропа, Стеропа, Тайгета и Электра, а также их родителей — Атланта и Плейоны.

В Плеядах много бурых карликов — субзвёздных объектов с массой менее 8 % солнечной, что недостаточно для начала термоядерных реакций. Бурые карлики могут составлять до четверти звёзд скопления, но менее 2 % его массы. Бурые карлики молодых звёздных скоплений (таких, как Плеяды), представляют большой интерес для астрономов, так как ещё достаточно яркие для наблюдения и изучения.

Кроме того, в скоплении есть несколько белых карликов. Они могли быстро образоваться из звёзд большой массы в тесных двойных системах из-за перетекания вещества с них на второй компонент.

Как и большинство рассеянных звёздных скоплений, Плеяды со временем перестанут быть гравитационно связанной структурой. По предварительным оценкам, в течение 250 миллионов лет Плеяды распадутся; влияние гравитации молекулярных облаков и спиральных рукавов галактики только ускорит этот процесс.

При идеальных условиях наблюдения на фотографиях с большой выдержкой можно заметить некоторые признаки туманности вокруг скопления Плеяд, особенно вокруг Меропы и вокруг Майи. Это отражательная туманность, отражающая голубой свет горячих молодых звёзд и открытая в 1859 году.

Ранее считалось, что пыль, образующая туманность — это остатки вещества, из которого образовались звёзды скопления. Однако за 100 миллионов лет это вещество было бы рассеяно давлением звёздного излучения. Видимо, Плеяды просто сейчас движутся по насыщенной космической пылью области пространства.



Звёздные ассоциации

Звёздные ассоциации — группировки гравитационно несвязанных звёзд или слабосвязанных молодых (возраст до нескольких десятков миллионов лет) звёзд, объединённых общим происхождением.

Звёздные ассоциации обнаружил В. А. Амбарцумян в 1948 году и предсказал их распад. В отличие от молодых рассеянных звёздных скоплений, звёздные ассоциации обладают бóльшим размером (десятки пк, у ядер рассеянных звёздных скоплений — единицы пк) и меньшей плотностью: количество звёзд в ассоциации — от десятков до сотен. Происхождением звёздные ассоциации обязаны областям звездообразования комплексов молекулярных облаков.



- **OB-ассоциации, содержащие в основном массивные звёзды спектральных классов O и B**
- **T-ассоциации, содержащие в основном маломассивные переменные звёзды типа T Тельца**
- **R-ассоциации (от R — reflection), в которых звёзды спектральных классов O — A2 окружены отражательными газопылевыми туманностями.**

Visible • WFPC2



Infrared • NICMOS



Trapezium Cluster • Orion Nebula
WFPC2 • Hubble Space Telescope • NICMOS

NASA and K. Luhman (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics) • STScI-PRC00-19

Основные параметры звезды

светимость L , масса m , радиус R

Их численные значения принято выражать соответственно в единицах Солнца.

Физическое состояние звезды описывается значением различных параметров; массы, радиуса, средней плотности, светимости, эффективной температуры, спектра, химического состава, средней скорости энерговыделения и ускорения силы тяжести на поверхности.

теорема Ресселла – Фогта:

- При заданном химическом составе только один из этих параметров, например, масса, является независимой переменной, все остальные выводятся из него.
- Если бы все звезды имели одинаковый химический состав, то их светимость и радиус были бы однозначными функциями массы звезд.

Кроме того, у некоторых звезд играют роль конвекция, вращение и магнитное поле.

В действительности, по мере протекания ядерных реакций в недрах звезды, меняется не только общий хим. состав, но и распределение хим. элементов внутри звезды. На поздних стадиях эволюции звезды имеют сложную структуру, они состоят из ядра и оболочек разного состава, на границе между которыми меняются плотность и температура. Такова структура красных и жёлтых гигантов и сверхгигантов.

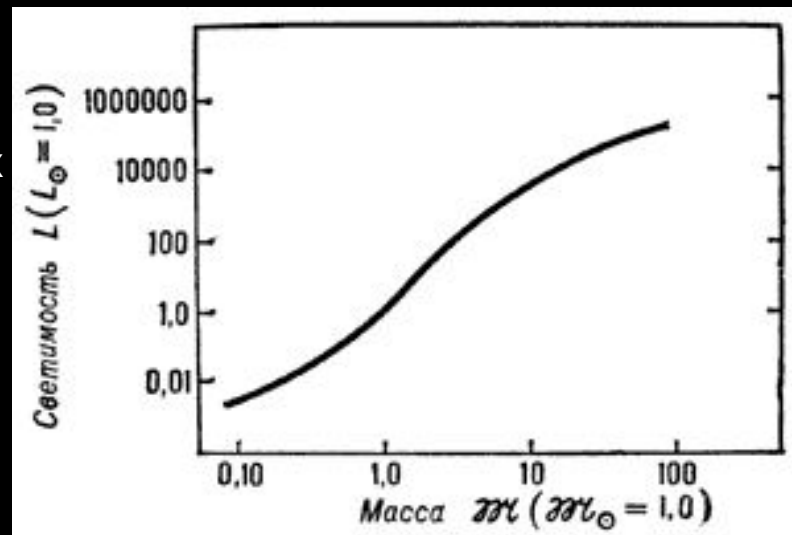
Несмотря на то, что доля элементов **тяжелее гелия** в химическом составе звёзд исчисляется не более чем несколькими процентами, они играют важную роль в жизни звезды. Благодаря им ядерные реакции могут замедляться или ускоряться, а это отражается как на яркости звезды, так и на цвете и на продолжительности её жизни. Так, чем больше **металличность** массивной звезды, тем меньше будет остаток при взрыве сверхновой.

Наблюдатель, зная химический состав звезды, может довольно уверенно судить о времени образования звезды.

Химический состав звёзд очень сильно зависит от типа звёздного населения и отчасти от массы — у массивных звёзд в недрах полностью отсутствуют элементы тяжелее гелия (в молодом возрасте этих звёзд), жёлтые и красные карлики сравнительно богаты тяжёлыми элементами — они помогают зажечься звёздам при небольшой массе газопылевого облака.

Хотя диаграмма ГР основана на сопоставлении спектрального класса (температуры, цвета) с абсолютной звездной величиной (или светимостью), на самом деле положение звезды на этой диаграмме определяется ее массой (а также возрастом и начальным химическим составом — согласно теореме Рассела—Фогта). Чем больше масса, тем сильнее разогреваются недра звезды, тем ярче она светит.

Зависимости между параметрами состояния различны для звезд разного состава и структуры. Для нахождения этих зависимостей значения соответствующих параметров откладывают на осях прямоугольной системы координат и строят диаграммы состояния звезд. На этих диаграммах подобные по составу и строению звезды лежат вдоль определённых линий и образуют последовательности.



Массы звезд непосредственно известны только для Солнца и для некоторых двойных звезд. В обоих случаях для определения массы используются законы небесной механики, управляющие в первом случае движением планет, во втором - относительным движением звезд, образующих двойную систему. Косвенно массы звезд можно оценить по соотношению масса - светимость или спектру.

Зависимость масса - светимость для звезд (кривая построена по усреднённым данным).

Диапазон звездных масс необычайно широк и простирается от 0,1 до 150М Солнца. Это означает, что наилегчайшее светило по массе уступает наитяжелейшему более чем на три порядка величины. Правда, это справедливо лишь в отношении отдельных объектов; если говорить обо всей совокупности звезд Галактики, то в ней маломассивные звезды явно доминируют, как по числу, так и по массе. При верхнем и нижнем пределах массы, равных 0,1 и 100М Солнца, соответственно, такое распределение означает, что звезд с массами выше 10М Солнца рождается примерно в 500 раз меньше, чем звезд с меньшими массами. Со временем «разрыв в счете» между массивными и маломассивными звездами только увеличивается: маломассивные светила живут существенно дольше, поэтому в современную функцию масс вносят вклад и звезды, сформировавшиеся миллиарды лет назад.

Начальный состав звезд примерно одинаков (в том смысле, что не бывает звезд из керосина или шоколада - все они состоят в основном из водорода и гелия). Разница заключается в "приправах" - до нескольких процентов элементов тяжелее гелия. Но, скажем, сейчас в нашей Галактике рождаются звезды примерно солнечного химсостава, так что даже приправлен "звездный суп" примерно одинаково. Остается масса. Чтобы моделировать большие популяции звезд нужно знать, каковы их свойства в среднем. Самое главное - распределение по массам. Масса звезды может меняться в течение жизни (из-за звездного ветра, из-за сброса оболочки, из-за обмена масс в двойной системе). Это можно промоделировать. Главное знать, какая была масса в начале. Это и есть начальная функция масс.

Начальная функция масс (НФМ)

эмпирическая функция, описывающая распределение масс звёзд в элементе объёма с точки зрения их начальной массы (масса с которой они сформировались).

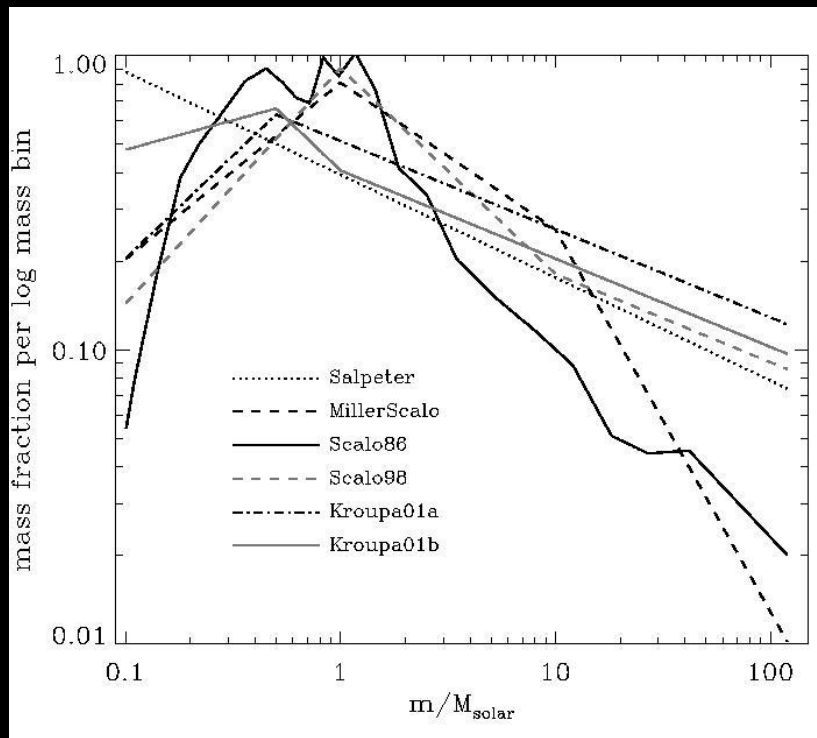
НФМ является важным предсказательным инструментом для астрономов при изучении большого количества звёзд. Важным является предположение о единстве, универсальности НФМ для всей Галактики или, по крайней мере, для большой ее части. Это предположение связано с возможностью моделирования эволюции характеристик звёздного населения нашей и других галактик.

В настоящее время на основе исследования функций масс рассеянных звёздных скоплений установлено, что в области, занимаемой хорошо исследованными рассеянными скоплениями, НФМ является универсальной, однако существуют небольшие вариации наклона спектра масс от скопления к скоплению.

Функцию масс можно определять разными способами: от прямых подсчетов звезд, до использования глобальных характеристик (плюс какая-то модель). До сих пор наиболее простым представлением для начальной функции масс считается так называемая **функция Солпитера** (хотя предложены и более детальные представления):

$$dN(M)$$

где $dN(M)$ — количество звезд с массами в интервале от M до $M + dM$, α - является безразмерным показателем.



Солпите́ровская функция масс применима к объектам с массой от 0,1 до 120 масс Солнца.

По горизонтальной оси отложена масса звезд. По вертикальной - доля массы в логарифмическом бине (интервале) масс. Если бы откладывали число звезд в единичном интервале масс, то кривые круче поднимались бы в сторону меньших масс.

НФМ звёзд более массивных, чем наше Солнце впервые была записаны Эдвином Солпите́ром в 1955 году. В его работе показатель $\alpha=2,35$. Эта форма НФМ называется функцией Солпитера или солпите́ровская НФМ. Она показывает, что *вероятность рождения звезды примерно обратно пропорциональна квадрату её массы и что число звёзд в каждом диапазоне масс быстро убывает с ростом массы.*

Некоторые скопления по неизвестным пока причинам показывают резкие отклонения от обычной для этих объектов функции масс. По сравнению с солпите́ровской другие функции масс имеют завалы или на малых массах, или на больших (или и там, и там). Авторы самых известных - Скало и Крупа.

От значения температуры сильно зависит характер ядерных реакций в недрах звезды. На рисунке отмечены условия, соответствующие центру Солнца и двух звезд главной последовательности — спектральных классов В0 и М0. Из положения Солнца на этом графике видно, что в недрах звезд главной последовательности поздних спектральных классов G, K и M, как и в Солнце, выделение ядерной энергии в основном происходит в результате протон-протонной реакции. В горячих звездах ранних спектральных классов, в недрах которых температура выше и составляет десятки миллионов градусов, главную роль играет превращение водорода в гелий за счет углеродного цикла. В результате этой реакции выделяется значительно большая энергия, чем при протон-протонной реакции, что и объясняет большую светимость звезд ранних спектральных классов.



Таким образом, следует ожидать, что звезды, располагающиеся в различных участках диаграммы спектр — светимость отличаются своим строением. Это подтверждается теоретическими расчетами равновесных газовых конфигураций, выполненными для определенных значений химического состава, массы, радиуса и светимости звезды (так называемых **моделей звезд**).

Протон-протонная реакция:

из четырех атомов водорода образуется один атом гелия. На промежуточных стадиях реакции образуются ядра тяжелого водорода (дейтерия) и ядра изотопа He_3 .

Углеродный цикл:

также приводит к образованию ядра гелия из четырех протонов. Процесс сложнее и может протекать только при наличии углерода, ядра которого вступают в реакцию на первых этапах и выделяются на последних. Таким образом, углерод является катализатором, почему и вся реакция носит названия *углеродного цикла*. В условиях Солнца играет значительно меньшую роль.

Исключительно важным является то обстоятельство, что масса ядра гелия почти на 1% меньше массы четырех протонов. Эта кажущаяся потеря массы называется **дефектом массы** и является причиной выделения в результате ядерных реакций большого количества энергии.