

## Гипотеза формирования звезд из газа

Проблема формирования и эволюции звезд является ключевой проблемой для всей космогонии. Когда она будет решена, откроется дорога к разрешению других важнейших проблем — формирования и эволюции системы планет, формирования и эволюции звездных систем.

Однако в настоящее время, несмотря на большие усилия, приложенные астрономами для решения этой проблемы, несмотря на то, что эти усилия привели к значительному прогрессу и некоторые варианты теории подробно разработаны и обоснованы, все-таки нельзя сказать, что проблема космогонии звезд разрешена.

Существуют две точки зрения на то, как произошли звезды. Каждая из этих точек зрения опирается на некоторый круг наблюдательных фактов и теоретические расчеты. С другой стороны, каждая из точек зрения испытывает трудности при объяснении некоторых других наблюдательных данных. Мы не говорим, что гипотеза противоречит фактам, потому, что сами наблюдательные данные в рассматриваемом случае еще недостаточно надежны и могут оказаться неверными.

Обе гипотезы заслуживают усиленной и тщательной разработки. Лишь дальнейшие успехи в разработке теории, накопление и уточнение наблюдательных данных покажут, какую из двух гипотез нужно утвердить.

Первая гипотеза основывается на предположении, что звезды формируются из газовой материи — той самой, которая и в настоящее время наблюдается в Галактике.

Предполагается, что газовая материя в тех местах, где ее масса и плотность достигают некоторой величины, начинает под действием своего собственного притяжения сжиматься и уплотняться, образуя сначала холодный газовый шар. В результате продолжающегося сжатия температура газового шара начнет подниматься. Потенциальная энергия частиц в поле притяжения газового шара при приближении к центру становится меньше, а это означает, что часть потенциальной энергии переходит в тепловую энергию. Совершенно тот же переход энергии происходит, когда лежавший на краю пропасти камень, упав на ее дно, теряет часть потенциальной энергии в силовом поле земного притяжения, и приобретает тепловую энергию, разогревшись от удара о дно пропасти.

Когда газовый шар нагреется, он станет отдавать тепловую энергию через излучение с поверхностных слоев, которые вследствие этого будут охлаждаться и посредством теплопроводности вызывать охлаждение более глубоких слоев. Поэтому если бы в газовом шаре, теперь уже звезде, не появились новые источники энергии, то процесс сжатия, сопровождающийся излучением энергии, довольно быстро привел бы к исчерпанию энергии и угасанию звезды. Эволюция таких звезд, формирующихся из водорода, была бы очень простой. Однако процесс сжатия приводит к тому, что центральные области звезды разогреваются до очень высоких температур. Они расположены очень глубоко и почти не испытывают влияния охлаждения, вызываемого излучением с поверхностных слоев. Когда температура центральной области достигает нескольких миллионов градусов, в ней начинаются термоядерные реакции, сопровождающиеся выделением большого количества энергии.

Период, в течение которого звезда, сжимаясь из газового облака, достигнет состояния, когда в ее центральных областях начнут действовать термоядерные реакции, называется периодом сжатия. В этот период температура звезды должна повышаться и, следовательно, спектральный класс становится более ранним. Что касается светимости звезды, то в период сжатия ее возрастанию будут способствовать увеличение температуры поверхности и увеличение прозрачности разогретой материи, вследствие чего из звезды будет непосредственно выходить излучение более глубоких и горячих слоев. С другой стороны, уменьшение радиуса звезды будет уменьшать светимость. Расчет показывает, что совместное влияние всех факторов в период сжатия должно приводить к небольшому увеличению светимости.

Поэтому на диаграмме спектр — светимость эволюция в период сжатия протекает вдоль линий, тянущихся справа налево и немного поднимающихся вверх (рис. 27). Различие линий эволюции на диаграмме определяется раз-

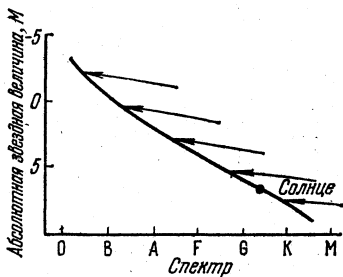


Рис. 27. Эволюционные перемещения звезд на диаграмме спектр — светимость в период сжатия.

личием масс газовых облаков, из которых формируются звезды. Чем больше масса, тем больше светимость, тем выше на диаграмме проходит линия эволюции.

В момент, когда начинают эффективно действовать термоядерные реакции, все звезды оказываются на главной последовательности диаграммы спектр — светимость.

Главными из термоядерных реакций являются реакции, которые приводят к превращению водорода в гелий. В их итоге четыре протона, являющиеся ядрами атома водорода, образуют ядро атома гелия. Масса протона в атомных единицах равна 1,00813, а масса ядра гелия 4,00389. Излишек массы в

$$4 \times 1,00813 - 4,00389 = 0,02863 \text{ атомной единицы} \quad (10)$$

превращается в энергию излучения согласно основной формуле Эйнштейна

$$E = mc^2, \quad (11)$$

в которой энергия выражается в джоулях, масса — в килограммах,  $c$  — скорость света в м/с.

Сравнение излишка массы с самой массой, участвующей в термоядерной реакции, показывает, что около 0,007 массы вещества при этой реакции превращается в энергию излучения.

Масса Солнца равна  $2 \cdot 10^{30}$  кг, светимость  $4 \cdot 10^{26}$  Дж/с.

Рассчитаем, сколько времени могло бы излучать Солнце так, как оно излучает сейчас, если бы из сплошь водородного оно превратилось в сплошь гелиевое, т. е. если бы в нем, как принято говорить, «выгорел» весь водород:

$$\frac{2 \cdot 10^{30} \cdot 0,007 (3 \cdot 10^8)^2}{4 \cdot 10^{26}} = 3 \cdot 10^{18} \text{ с} = 10^{11} \text{ лет.}$$

100 миллиардов лет — это много даже для космогонических сроков. Нужно учесть, что водород выгорает только в центральных областях звезд. Во всяком случае очевидно, что термоядерные реакции могут играть очень существенную роль в космогонии звезд.

Когда в звезде станут протекать термоядерные реакции и от них начнет поступать энергия, сжатие звезды прекратится. Энергия термоядерных реакций будет компенсировать расход энергии на излучение. Некоторый срок звезда будет сохранять неизменными свои основ-

ные физические характеристики — радиус, температуру, светимость, оставаясь на диаграмме спектр — светимость на линии главной последовательности. Затем начнет сказываться постепенное истощение водорода в центральной области звезды. Расчет моделей звезд и учет всех факторов, которые при этом действуют, показывает, что истощение водорода должно сопровождаться увеличением радиуса звезды и уменьшением ее температуры. Светимость при этом несколько растет, значит, звезда начнет смещаться с главной последовательности вправо и вверх. Скорость этого смещения зависит от скорости выгорания водорода, а последняя в очень сильной степени зависит от температуры. Скорость протекания термоядерных реакций приблизительно пропорциональна 15-й степени температуры! Поэтому те звезды быстрее сходят с главной последовательности и быстрее перемещаются на диаграмме вправо и вверх, у которых в центральных областях достигается более высокая температура. А температура центральных областей выше у звезд больших масс, в них сильнее поле тяготения и больше потенциальная энергия тяготения, превращающаяся при сжатии в тепловую энергию.

Поэтому звезды больших масс и больших светимостей быстрее сходят с главной последовательности вправо и вверх, перемещаясь в направлении той части диаграммы, где расположена ветвь гигантов. На рис. 28 показано, как на диаграмме спектр — светимость должны через определенные промежутки времени располагаться звезды, которые в некоторый момент находились точно на главной последовательности. Линии звезд равных возрастов стремятся вверх. Звезды больших масс и, следовательно, больших светимостей эволюционируют быстрее, превращаясь в красные гиганты, когда звезды меньших масс еще только немного отошли от линии главной последовательности.

После того как в звездах-гигантах выгорит весь водород и они достигнут стадии красного гиганта, сжатие их ядра, состоящего теперь уже из гелия, приведет к дальнейшему повышению температуры до значений более 100 млн. градусов. Тогда начинает действовать новая термоядерная реакция — образование ядра атома углерода из трех ядер атомов гелия. И эта реакция сопровождается потерей массы и выделением энергии излучения. Температура звезды станет возрастать и начнется новое перемещение звезды на диаграмме спектр — светимость, теперь уже влево.

Мы кратко обрисовали теорию эволюции звезд, основанную на гипотезе образования их из газа. Рамки этой книги не позволяют подробно изложить процессы, которые определяют эту эволюцию. Желаящим ближе познакомиться с вопросом мы рекомендуем прочитать книгу С. А. Каплана «Физика звезд» (М.: Наука, 1977).

Изложенная теория имеет значительные достоинства. Она оперирует с физическими процессами, реальность которых не вызывает сомнений и даже проверена на практике (водородная бомба). Она разработана количественно, причем некоторые этапы эволюции рассчитаны достаточно тщательно и точно. Здесь основная заслуга принадлежит

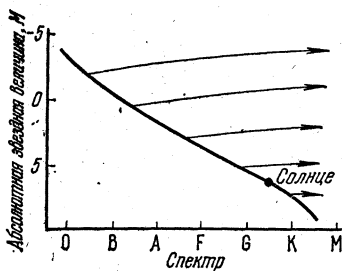


Рис. 28. Эволюционные перемещения звезд на диаграмме спектр — светимость после исчерпания водорода в центральных областях.

американскому астроному М. Шварцшильду и его сотрудникам. Важным доводом в пользу изложенной теории является определенное соответствие диаграмм спектр — светимость, построенных по наблюдательным данным, с тем, что получается на основании теоретических расчетов. Согласно теории период сжатия сравнительно короток, эта стадия проходит быстро, поэтому звездами, наблюдающихся на диаграмме спектр — светимость в местах, соответствующих линиям рис. 27, почти нет. Попав после окончания сжатия на главную последовательность, звезды на ней «сидят» довольно долго, особенно звезды малых масс, поэтому у главной последовательности скапливается много звезд и она, действительно, на диаграммах, построенных по наблюдениям, очень богато заселена.

Далее, можно полагать, что звезды в звездном скоплении имеют одинаковый возраст. Тогда теория объясняет наблюдающееся у ряда рассеянных скоплений загибание вверх линии главной последовательности. Это загибание имеет различную степень у различных скоплений, причем продолжение загнутой части можно усмотреть в области ветви красных гигантов в виде нескольких фигурирующих там звезд. Различную степень загибания линий главной последовательности можно трактовать как различный возраст рассеянных скоплений. На рис. 29 дана

совмещенная диаграмма цвет — светимость рассеянных скоплений, построенная Сендиджем. Согласно изложенной теории, судя по диаграмме, самым молодым скоплением является NGC 2362, затем в порядке увеличения возраста идут  $h$  и  $\chi$  Персея, Плеяды, NGC 2287, NGC 6705, Волосы Вероники, Гиады, Ясли, NGC 752, NGC 2682. Справа по вертикали указан возраст скопления, определяемый по высоте точки, у которой начинается отход линии расположения звезд от главной последовательности, соответствующей «нулевому» возрасту. Так, NGC 2362 имеет почти «нулевой» возраст, у ее звезд только закончился период сжатия и они «сели» на главную последовательность, у  $h$  и  $\chi$  Персея возраст около  $8 \cdot 10^6$  лет, у Плеяд — около  $10^8$  лет и т. д.

У старого рассеянного скопления NGC 2682 возраст около  $8 \cdot 10^9$  и его диаграмма похожа уже на диаграмму шарового скопления, в чем легко убедиться, если произвести сравнения с рис. 22.

Гипотеза происхождения звезд из газовой материи встречается и с серьезными трудностями. Одной из них является малое количество водорода в Галактике, всего около 2% общей ее массы. Если звезды образуются из газа, звездообразование в Галактике должно было бы практически закончиться. Между тем наша звездная система весьма богата молодыми звездами — голубыми гигантами и сверхгигантами; в этом отношении она уступает очень немногим галактикам.

Далее, горячие гиганты и сверхгиганты сосредоточены в звездных ассоциациях, поэтому если звезды образуются из газа, то следовало ожидать присутствия здесь и не-

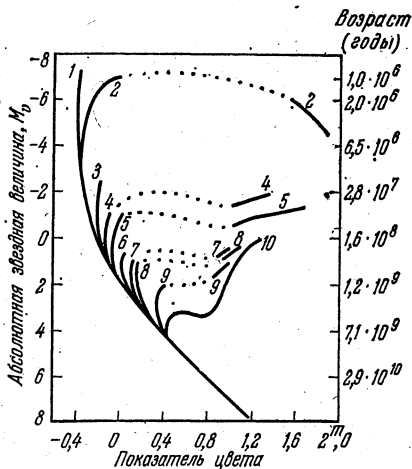


Рис. 29. Совмещенная диаграмма цвет — светимость для десяти рассеянных скоплений: 1 — NGC 2362, 2 —  $h$  и  $\chi$  Персея, 3 — Плеяды, 4 — NGC 2287, 5 — NGC 6705, 6 — Волосы Вероники, 7 — Гиады, 8 — Ясли, 9 — NGC 752, 10 — NGC 2682.

которого количества уже заметно уплотнившихся газовых облаков, постепенно превращающихся в звезды. Нужно сказать, что в некоторых местах Галактики были обнаружены маленькие плотные облака, названные глобулами. Но, во-первых, они не показывают тесной связи со звездными ассоциациями, а во-вторых, нет оснований утверждать, что глобулы как раз являются зародышами звезд.

Слабым местом гипотезы является то, что описываемый ею процесс превращения газовой массы в звезду, как процесс весьма спокойный, не может объяснить ряда наблюдательных данных, которые, по-видимому, нужно трактовать как выбрасывание из некоторой области пространства звезд и даже галактик.

И наконец, отметим слабый пункт гипотезы образования звезд из газа, состоящий в том, что, объяснив ряд известных наблюдательных фактов, она не смогла пока предсказать каких-нибудь новых, неизвестных до сих пор явлений, которые подтвердились бы в наблюдениях.

### **Гипотеза образования звезд из сверхплотного вещества**

Вторая гипотеза, выдвинутая акад. В. А. Амбарцумяном, состоит в том, что звезды образуются из некоторого сверхплотного вещества. Основой этого кажущегося неожиданным предположения является вывод, что в наблюдаемой Вселенной процессы распада преобладают над процессом соединения. Если это так, то наиболее важный космогонический процесс — образование звезд — должен быть переходом вещества из более плотного состояния в менее плотное, а не наоборот, как предполагает гипотеза образования звезд из газа.

Гипотеза, как мы видим, требует, чтобы во Вселенной существовал материал — сверхплотное вещество, которого еще никто ни при каких обстоятельствах не наблюдал и многие свойства которого остаются неизвестными. Является ли это обстоятельство недостатком гипотезы? На первый взгляд может показаться, что это именно так. Однако нужно отдавать себе отчет в том, что, изучая проблему происхождения звезд и звездных систем, мы выходим за круг явлений, связанных с обычной деятельностью человека. История показывает, что каждый раз, когда наука вторгалась в новую область исследования, старых понятий и закономерностей оказывалось недостаточно для