

А. И. ЛЕБЕДИНСКИЙ

### ГИПОТЕЗА ОБ ОБРАЗОВАНИИ ЗВЕЗД

(Представлено академиком О. Ю. Шмидтом 3 V 1951)

Однородная среда плотности  $\rho_0$  с температурой  $T_0$  может и должна распасться на дискретные массы с первоначальными радиусами  $R_0$ , удовлетворяющими неравенству, выведенному Джинсом,  $\frac{4\pi}{3} \gamma \rho_0 K_0^2 \geq \geq 3 \frac{A}{\mu} T_0$ , где  $\gamma$  — постоянная тяготения,  $A$  — газовая постоянная, а  $\mu$  — молекулярный вес. Это неравенство представляет собою необходимое условие гравитационной конденсации, но оно не определяет однозначно продуктов этого процесса. Действительно, при сжатии какой-либо массы плотность внутри нее увеличивается, и неравенство Джинса оказывается выполненным для отдельных ее частей; в результате большая масса может распасться на отдельные меньшие массы. Очевидно поэтому, что для построения количественной теории происхождения звезд необходим второй критерий, ограничивающий наибольшие возможные массы, которые могут превращаться в отдельные звезды. Коль скоро такой критерий будет найден, условие совместности двух неравенств определит однозначно начальную стадию процесса образования звезд.

Эту общую теоретическую предпосылку полезно сопоставить со следующими тремя наблюдаемыми фактами: 1) отношение среднего значения  $Z$ -компоненты скоростей звезд, направленной перпендикулярно к галактической плоскости, к  $X$ -компоненте, направленной на центр Галактики, меньше единицы во всех подсистемах, причем почти все подсистемы массивных звезд имеют дисперсию скоростей меньшую, чем подсистемы немассивных звезд; 2) значительная часть звезд объединена в скопления различного типа, которые в современных условиях могут только диссипировать, но не пополняться; 3) измеренные удельные моменты вращения звезд не превышают  $3 \cdot 10^{18}$  см<sup>2</sup>·г, причем все медленно вращающиеся звезды-карлики имеют массы не выше  $4 \cdot 10^{33}$  г  $\approx \frac{1}{3} M_0'$ , а вообще верхней границей наблюдаемых масс звезд можно считать величину  $M_0'' = 100 M_\odot$ . Здесь через  $M_0'$  и  $M_0''$  обозначены массы водородных звезд, в которых энергия радиации равна энергии газа, т. е. лучевое давление порядка газового:  $M_0'$  соответствует звезде, состоящей из молекулярного водорода, а  $M_0''$  — из ионизованного водорода.

Первый факт говорит о том, что некогда наша звездная система была намного более уплощенной, чем теперь, а затем расширилась в результате взаимных возмущений как отдельных звезд, так и целых их скоплений. Только в очень уплощенной звездной системе возму-

щения горизонтальных компонент скоростей больше, чем  $Z$ -компонент; в совершенно плоских системах, при  $Z$ -компонентах точно равных нулю, вообще не должно было бы возникать дисперсии компоненты скорости, перпендикулярной к плоскости симметрии, но появление бесконечно малой дисперсии ведет к ее дальнейшему увеличению; другими словами, плоская система в отношении возникновения дисперсии  $Z$ -компонент скоростей находится в неустойчивом равновесии. В современных условиях эволюция кинематических характеристик должна вести к разнораспределению, т. е. к выравниванию  $Z$ - и  $X$ -компонент. Срок преобразования плоской звездной системы в современное состояние — порядка  $10^{11}$ — $10^{12}$  лет. Дальнейшая эволюция будет протекать очень медленно. Если бы этот факт был единственным, то его можно было бы объяснить с точки зрения гипотезы гравитационной конденсации следующим простейшим предположением: диффузное облако протогалактики, теряя энергию и сохраняя момент, уплостилось до толщины порядка  $10^{17}$ — $10^{18}$  см, после чего распалось на протозвезды с первоначальными поперечниками порядка толщины слоя и массами порядка современных звезд; произвольность предположений в такой гипотезе была бы та же, что и у Джинса.

Второй факт показывает, что протогалактика была хотя и плоской, но чрезвычайно неоднородной; в течение всей своей эволюции она постепенно распадалась на все более мелкие массы. Этот процесс последовательных делений, однако, не продолжался безгранично, а почему-то прекратился, когда массы стали сравнимы с  $M'_0$ , являющейся приблизительно утроенной верхней границей масс подавляющего большинства звезд. Принимая во внимание критерий Джинса, это можно сказать другими словами: последнее деление в каждой массе происходило тогда, когда ее средняя плотность становилась порядка  $10^{-21}$ — $10^{-22}$  г/см<sup>3</sup>. Такова же примерно и средняя плотность открытых и шаровых скоплений.

Наиболее существен третий факт. Он подсказывает такую гипотезу: максимальная возможная масса звезд  $M_0$  соответствует условию равенства тепловой и радиационной энергии звезды; большие массы неравновесны и должны распадаться. Распад неврещающегося тела на две массы невозможен (двойная звезда должна иметь момент); следовательно, распад должен приводить к образованию кратной звезды или скоплению с почти нулевым суммарным моментом.

С точки зрения высказанной гипотезы третий факт получает объяснение. Протозвезда, превращаясь в звезду, на некоторой стадии должна была состоять из молекулярного водорода, и если ее масса была больше  $M'_0$ , то она в этот период распалась на массы  $M < M'_0$ . Впоследствии звезды, состоящие из ионизованного водорода, могли приобретать массу, так как и слияния звезд и захваты диффузной материи звездой при адиабатическом процессе увеличивают энтропию и, следовательно, возможны с точки зрения второго начала термодинамики. Конечно, возрастание массы звезды путем столкновений или захвата возможно только до предела  $M''_0$ , в этом случае соответствующего ионизованному водороду. Если масса звезды превысит предел  $M''_0$ , звезда, согласно гипотезе, должна разделиться.

В начальной стадии гравитационной конденсации протозвезда вращается вокруг своего центра с той же угловой скоростью, с какой вращалась однородная среда, из которой она выделилась. Если отождествить эту угловую скорость со скоростью вращения Галактики  $\omega_0 = 1,4 \cdot 10^{-16}$  сек.<sup>-1</sup>, то при первоначальных размерах  $R_0 = 2 \cdot 10^{17}$  см удельный момент будет  $i_0 = 5 \cdot 10^{18}$  г·см<sup>2</sup>. При дальнейшей эволюции центробежное или корпускулярное истечение с поверхности звезды должно (1) уменьшать ее удельный момент. Например, в звезде с

конвекционным ядром удельный момент убывает пропорционально восьмой степени массы и сокращение массы в 3—4 раза практически приостанавливает вращение звезды. При слиянии звезд удельный момент не изменяется, а при захвате диффузной материи средний удельный момент прироста массы равен  $\omega_0 r^2$ , где  $r$  — радиус захвата, т. е. величина порядка  $10^{17} - 10^{18}$  см, которая тоже соответствует моменту, близкому к  $i_0$ . Очевидно поэтому, что  $i_0$  должно быть приблизительно верхней границей удельного момента массивных звезд. В процессе взаимных возмущений, главным образом на протозвездной стадии, оси вращения звезд прецессировали и возникла наблюдаемая дисперсия их ориентировок.

Превращение протозвезды в современную звезду должно было сопровождаться в подавляющем большинстве случаев потерей не менее чем  $2/3$  массы. Эта масса, рассеивавшаяся в галактическом пространстве, не сохранилась до наших дней и, следовательно, из нее вновь образовались звезды. Поэтому процесс образования звезд не мог быть единовременной гравитационной конденсацией, а должен был быть очень длительным процессом многократных конденсаций, быть может, продолжающимся и теперь.

Поскольку большинство звезд потеряло массу, а приобрели массу большую  $M_0$  лишь немногие гиганты, то очевидно, что росли только те звезды, которые находились в исключительно благоприятных условиях, т. е. в плоскости симметрии Галактики, куда постепенно оседала выброшенная звездами материя. Другими словами, гигантами стали те звезды, которые случайно имели почти круговые орбиты, лежащие в плоскости симметрии Галактики, и поэтому неравномерного распределения энергии поступательного движения между членами плоских и сферических подсистем не должно быть и, как известно, не наблюдается.

С точки зрения нашей гипотезы становится понятным возникновение в процессе совместного образования звезд большого количества двойных и кратных систем. Тесные кратные звезды образовывались во всех тех случаях, когда конденсировалась масса большая  $M_0$ , а затем в большинстве случаев такие кратные системы распадались под действием внутренних сил и в результате, в конечном итоге, оставалась устойчивая двойная звезда. Некоторые тесные кратные звезды сохранились до сих пор; возможно, что это наиболее молодые звезды. В случае нашей гипотезы отпадает основная трудность гипотезы деления, обусловленная тем, что центробежное истечение с экватора начинается при сжатиях звезды, еще недостаточных для ее деления. Предполагаемое нами деление не связано с вращением звезды и происходит сразу по окончании протозвездной стадии ее развития.

В период сильного уплощения Галактики или отдельных ее подсистем дисперсия скоростей звезд сравнима с дисперсией скоростей в открытых скоплениях, а в этом случае, как показали Л. Э. Гуревич и Б. Ю. Левин <sup>(2)</sup>, происходит образование большого числа широких двойных и кратных звезд с распределением эксцентриситетов и полуосей орбит, согласующимся с наблюдаемым.

Гипотеза о совместном происхождении звезд как необходимом условии объяснения распространенности кратных систем, скоплений и ассоциаций была высказана В. А. Амбарцумяном <sup>(3)</sup>. Наша точка зрения ведет к подтверждению и конкретизации этой гипотезы.

В работе <sup>(4)</sup> мы указывали, что при распаде однородного слоя на дискретные массы  $M$ , находящиеся на расстоянии  $2R_0$ , сразу же возникает дисперсия скоростей  $v^2 \approx \gamma M/R_0$ , которая затем увеличивается в результате взаимных сближений. При распаде плоского слоя образующиеся массы  $M$  пропорциональны  $R_0^2$ . Начальная дисперсия скоростей звезд в области Солнца должна быть порядка 1 км/сек., а для

масс, из которых образовались скопления, она значительно больше. Так, для начальных скоростей открытых скоплений получается оценка 5—10 км/сек., а для шаровых скоплений — порядка 100 км/сек. Если же считать, что шаровые скопления образовались в центральных областях Галактики, где начальные радиусы  $R_0$  были меньше, то начальная дисперсия окажется порядка современной дисперсии скоростей шаровых скоплений.

Будет, однако, неосторожно заключить на этом основании, что шаровые скопления на самом деле образовались в центральных частях Галактики. Не исключена и другая возможность, что они возникли на периферии, где малая плотность делала возможной гравитационную конденсацию только очень больших масс, которые затем распались на звезды с массами, не превышающими  $M_1$ .

Кроме перечисленных фактов, имеется еще важный комплекс фактов, относящихся, во-первых, к существованию двух типов диаграммы светимость — спектр, а во-вторых, к существованию таких подсистем, как короткопериодические цефеиды и долгопериодические переменные. Дискуссия этих фактов лежит за пределами возможностей качественного обсуждения, но в этой связи мы отметим следующее обстоятельство. Не исключена возможность, что процентное содержание нелетучих веществ могло быть различным в различных областях протогалактики; по тем или иным причинам газ (при низких температурах это в основном водород) и пыль (т. е. в основном малолетучие вещества) могли разделяться и обусловить отличный от большинства звезд химический состав звезд в сферических подсистемах.

Высказанная гипотеза о том, что не могут существовать и должны распаться звезды, в которых энергия радиации больше энергии газа, ведет к объяснению основной сопокупности наблюдаемых фактов. Решающей ее проверкой, очевидно, является исследование вопроса, почему не могут существовать и должны распаться звезды с массой больше чем  $M_0$ .

Ленинградский государственный университет  
им. А. А. Жданова

Поступило  
3 V 1951

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. А. Крат, ДАН, 59, 455 (1948); Д. Я. Мартынов, ДАН, 60, 523 (1948)  
Л. Э. Гуревич и Б. Ю. Левин, Астрон. журн., 27, 5, 273 (1950). <sup>2</sup> В. А. Амбарцумян, Эволюция звезд и астрофизика, Ереван, 1947. <sup>3</sup> Л. Э. Гуревич и А. И. Лебединский, Изв. АН СССР, сер. физ., 14, 6, 765 (1950).