

## ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЕЗД И АСТРОФИЗИКА\*

Объяснение происхождения и развития небесных тел, в том числе и таких, как Земля и Солнце, является одной из основных задач не только Астрономии, но и всего естествознания. Область Астрономии, трактующая этот вопрос, называется космогонией. В XIX веке и в начале XX века космогонические исследования сводились главным образом к построению так называемых космогонических гипотез. Обычно каждая космогоническая гипотеза стремилась объяснить происхождение современного состояния той части Вселенной, которая была известна в момент появления гипотезы. Так, после того как было выяснено современное состояние солнечной системы, Лаплас поставил вопрос о том, как оно произошло. В недавнем прошлом Джинс поставил уже вопрос о возникновении не только солнечной системы, но и звездной системы (Галактики), куда Солнце входит в качестве одного из членов. То же самое можно сказать о многочисленных других космогонических гипотезах. Однако авторы гипотез сталкивались со следующей трудностью: планетная система была до сих пор известна лишь в одном экземпляре. Не было изучено никаких других планетных систем, которые, находясь в других стадиях развития, могли бы дать представление о возможных прошлых или будущих этапах развития нашей планетной системы. Джинс, правда, ставя вопрос о нашей звездной системе, знал о других звездных системах, но им полностью владела странная идея о том, что эллиптические туманности и ядра спиралей состоят не из звезд, а из пыли и газа. Как известно, оказалось, что эти образования состоят из

---

\* Изд. АН Армянской ССР, Ереван, 1947.

В работе было опубликовано следующее примечание автора.

«Настоящее издание является переработкой доклада автора: «Современная астрофизика и космогония», прочитанного 27 октября 1947 года на Общем собрании Академии наук СССР, посвященном тридцатилетию Великой Октябрьской социалистической революции». *Ред.*

звезд. Правильное представление он имел об устройстве лишь нашей звездной системы, да и то в ограниченном объеме вокруг Солнца.

Не имея никаких существенных данных наблюдательного характера о возможных прошлых состояниях рассматриваемых систем небесных тел, авторы космогонических гипотез руководствовались каким-нибудь предвзятым представлением о первоначальном состоянии системы.

Чаще всего принималось, что первоначальное состояние представляло собою разреженную туманность.

Естественно, что такой путь исследования вел к спекулятивным построениям, часто весьма неплодотворным. Лишь немногие из космогонических гипотез (я имею в виду как раз гипотезы Лапласа и Джинса) сыграли известную положительную роль в истории Астрономии.

Однако за последние тридцать лет произошло коренное изменение положения дел в этой области науки. Развитие современной Астрофизики привело к накоплению колоссального фактического материала о звездах и о звездных системах самого различного типа и в разных стадиях развития. Изучены физические свойства звезд в этих состояниях. Показано, что совокупность различных состояний звезд в природе изумительно многообразна. Некоторые отличающиеся большой быстротой протекания, т. е. скачкообразные этапы развития звезд, как, например, вспышки Новых и Сверхновых, наблюдаются нами непосредственно и подвергаются тщательному изучению. Применение современных статистико-механических методов к звездным системам, состоящим из большого числа членов, привело к весьма существенным выводам о характере вековых изменений в этих системах.

В результате должна совершенно измениться и изменилась постановка космогонической проблемы. Речь должна идти не о выводе современного состояния какой-нибудь индивидуальной системы из гипотетического первоначального состояния. Речь уже должна идти о выводе общих закономерностей развития небесных тел и их систем. В частности происхождение Солнца и солнечной системы должно быть понято в рамках общей теории развития звезд.

Это не значит, что задача космогонии сейчас представляется более легкой, чем раньше. Наоборот, богатство наблюдательных данных о звездах привело к постановке в космогонии целого ряда новых и притом весьма глубоких вопросов, о которых раньше мы не имели и представления. Но вместе с тем явилась возможность приступить к решению проблемы, начав с рассмотрения более простой задачи о том, какие из наблюдаемых состояний звезд и каким образом генетически связаны между собою. Идя этим путем, тщательно изучая фактический материал и вводя в нужные моменты соответствующие физические гипотезы и

теории (нельзя отрицать пользы гипотез там, где они действительно нужны), можно будет разрешить всю космогоническую проблему.

Однако и до сих пор некоторые авторы продолжают идти по ставшему уже негодным пути спекулятивных построений, типа старых космогонических гипотез, оставляя в стороне весь арсенал современных знаний о физических состояниях звезд, пренебрегая выводами статистической механики звездных систем и вообще теоретической физики и тем самым громоздя ошибки на ошибках. В настоящем докладе я не считал возможным останавливаться на этих бесплодных построениях.

Те факты и астрофизические данные, имеющие космогоническое значение, которые мною ниже приводятся, получены в значительной мере благодаря трудам советских астрофизиков, которые, несмотря на некоторую слабость нашей наблюдательной базы, правильно направляют свои труды на разрешение коренных, фундаментальных проблем звездной физики, связанных с проблемой развития звезд, и добиваются успеха на этом поприще. Поэтому уместно привести их здесь, при подведении итогов советской науки за 30 лет.

Сперва мы приведем данные об отдельных звездах и затем перейдем к звездным системам.

*Отдельные звезды.* Состояние каждой звезды характеризуется значениями трех основных величин: ее массы, радиуса и светимости, т. е. мощности испускаемого ею излучения. Однако далеко не все мыслимые комбинации значений массы, радиуса и светимости встречаются в природе. Для того чтобы сделать это ясным, остановим свое внимание на двух величинах: скажем на радиусе и светимости. На диаграмме, изображающей зависимость светимости от радиуса, каждая звезда будет изображаться одной точкой. Оказывается, что точки, изображающие совокупность звезд, составляющих нашу Галактику, концентрируются вокруг некоторых определенных линий на этой диаграмме. По известным нам данным подавляющее большинство звезд (десятки миллиардов в нашей Галактике) концентрируется вокруг одной такой линии на диаграмме радиус — светимость. Эти звезды носят название *звезд главной последовательности*. Так называемые *белые карлики*, расположенные в другой области этой диаграммы, занимают по численности второе место. Это вторая последовательность на диаграмме. Абсолютное число белых карликов должно выражаться сотнями миллионов. Кстати, эта многочисленность белых карликов впервые была установлена советскими астрономами [1]. На третьем месте по численности стоит группа или последовательность звезд *гигантов*. Их число в Галактике в лучшем случае выражается несколькими миллионами. Указания на существование еще одной, новой последовательности — последовательности субкарликов [2], получены проф. Паренаго. Данных о чис-

ленности этой последней последовательности мы пока не имеем и трудно иметь суждение о ее эволюционном значении.

При изменении состояния звезды должны меняться значения массы, светимости и радиуса. Следовательно, в своем развитии звезда должна перемещаться по нашей диаграмме. Вопрос заключается в том, каковы возможные пути этого перемещения.

Уже само рассмотрение различных наблюдаемых нами последовательностей на диаграмме радиус — светимость позволяет сделать интересные заключения. Именно, оказывается, что из всех мыслимых путей развития лишь некоторые не противоречат этой диаграмме. Остальные противоречат ей и поэтому должны быть отброшены.

Очевидно, что подавляющая масса звезд почти все время находится на главной последовательности. Поэтому почти все время изменения их должны выражаться в перемещении вдоль главной последовательности. Однако звезды, находящиеся в разных точках главной последовательности, обладают различной массой. Поэтому сколько-нибудь значительное передвижение звезды вдоль главной последовательности должно сопровождаться значительным изменением массы.

Отсюда получается следующий вывод:

Либо звезда главной последовательности, оставаясь в ней, почти не меняет своего состояния, либо меняется масса звезды.

Отсюда ясно, какое фундаментальное значение приобретает проблема изменения массы звезды. Каковы возможные причины и способы изменения масс звезд?

Надо сказать, что до сих пор не наблюдалось и не было предложено теоретически ни одного возможного способа увеличения массы звезд. Увеличение за счет межзвездной материи пренебрежимо мало. Что касается уменьшения массы, то подобный механизм был предложен Эддингтоном и Джинсом и заключается в убыли массы за счет лучеиспускания. Данные, вытекающие из статистической механики звездных систем, приводят, как было показано мною в другом месте, совершенно однозначным образом к таким промежуткам существования звездных систем, при которых масса, затраченная на лучеиспускание, пренебрежима по сравнению с полной массой звезды.

Однако произведенные за последние годы у нас в Союзе изыскания [3] над непосредственным испусканием материи из звезд позволили выяснить, что происходящая таким образом убыль звездной массы во много раз больше, чем убыль вследствие лучеиспускания и может иметь важное эволюционное значение.

Ниже мы коснемся нескольких важных примеров такого непосредственного испускания массы, при котором масса звезды может существенно уменьшиться. Надо здесь, однако, отметить, что большинство

наблюденных случаев интенсивного выбрасывания вещества относится к горячим звездам.

Что касается ветви гигантов, то разным состояниям этой ветви соответствуют массы одного и того же порядка. Поэтому возможные перемещения вдоль этой ветви могут совершаться без существенного изменения массы звезды.

В случае же белых карликов для большинства известных объектов этого рода мы не знаем значения массы. В связи с этим пока весьма трудно говорить о том, при каких изменениях массы возможно продвижение белых карликов вдоль их ветви.

Наконец, мы должны учитывать и возможность скачкообразных переходов *из одной ветви в другую*.

При этом, если брать скачкообразные переходы с изменением массы, то таковые могут быть самого разнообразного характера и направления (ветвь гигантов — ветвь гигантов, но в другой точке, ветвь гигантов — главная последовательность, белый карлик — главная последовательность, белый карлик — гигант и пр.).

Не противоречат диаграмме радиус — светимость и скачки без существенного изменения массы, например из главной последовательности в белые карлики и обратно, предположительно из белых карликов в гиганты или обратно.

Мы видим, что одно лишь простое рассмотрение указанной диаграммы показывает, какие пути эволюции на этой диаграмме противоречат ей самой и какие не противоречат.

Могут спросить: не является ли возможным также постепенное перемещение, эволюционное между указанными ветвями. Отвечаем: возможно, но наблюдаемая малая частота звезд между ветвями указывает либо на то, что это происходит лишь с небольшим процентом звезд, либо на то, что время прсбывания между ветвями очень короткое, т. е. переход все-таки совершается скачкообразно.

Для того чтобы выбрать из путей развития и эволюции, допускаемых рассматриваемой диаграммой, те, которые являются истинными, т. е. произвести дальнейший отбор среди всех мыслимых изменений состояния звезд, мы должны обратиться к ряду фактов, связанных с изучением, если можно так выразиться, малых звездных систем, т. е. двойных звезд и звездных скоплений.

*Двойные звезды* в течение своей жизни сближаются и расходятся с другими звездами нашей Галактики. При таких сближениях системы возмущаются и элементы их орбит изменяются. С течением времени должно установиться некоторое равновесное распределение элементов орбит. Анализируя данные об эксцентриситетах двойных звезд, Джинс [4] пришел к заключению, что такое равновесное распределение уже на-

ступило. Однако на основании данных, относящихся к более существенной для рассматриваемого вопроса характеристике, к большим полуосям орбит, докладчик [5] пришел к заключению о неверности этого вывода. Оказалось, что распределение элементов орбит звездных пар совершенно непохоже на равновесное. Отсюда последовал вывод, что время, необходимое для установления равновесного распределения (время релаксации), еще не истекло. Таким образом, удалось подсчитать, что возраст подавляющего большинства звездных пар не превосходит несколько миллиардов лет.

Это первый, чрезвычайно важный космогонический вывод из современной Астрофизики.

Однако сближение пары с третьей звездой может привести в иных случаях и к распаду пары. Мыслимы теоретически и противоположные процессы образования пар при случайном сближении трех звезд.

При статистическом равновесии те и другие процессы случаются одинаково часто, имеет место диссоциативное равновесие. Однако наблюдаемое отношение числа пар к числу одиночных звезд в миллионы раз больше, чем должно было бы быть при диссоциативном равновесии [6]. Поскольку вероятности образования и распада пар не зависят существенно от наличия или отсутствия этого равновесия, то отсюда следует, что сейчас в звездной системе процессы распада происходят в миллионы раз чаще, чем процессы образования пар (см. добавление 1). Кроме того, мы приходим к заключению, что совокупность существующих в Галактике звездных пар не может быть продуктом случайных сближений. *Компоненты каждой пары имеют общее происхождение.*

Это второй чрезвычайно важный космогонический вывод из данных современной Астрофизики.

*Открытые звездные скопления.* Открытые скопления состоят обычно из нескольких десятков или сотен звезд. В отдельных случаях число членов скопления измеряется тысячами. Они представляют собой системы, в которых все члены связаны друг с другом силами притяжения. Типичными открытыми скоплениями являются Плеяды и Гиады. Каждое звездное скопление движется как целое вокруг центра Галактики. Однако помимо этого, каждая звезда, входящая в скопление, совершает некоторое движение внутри скопления, под совокупным действием остальных его звезд. В звездной динамике доказывается, что в результате происходящих при этом случайных взаимных тесных сближений отдельных звезд некоторая доля звезд получит кинетическую энергию, достаточную, чтобы уйти из скопления. Так, с течением времени может произойти полный распад скопления [7]. Вычисление показывает, что время, потребное для такого распада, измеряется несколькими миллиар-

дами лет, а в случае скоплений бедных звездами несколькими сотнями миллионов лет. При этом карлики, т. е. звезды малой массы, уходят из скопления быстрее и уже на первых этапах своего существования скопление становится относительно бедным звездами-карликами.

Некоторые открытые скопления, например,  $\chi$  и  $h$  Персея, Месье 11, сравнительно богаты карликами. Можно думать, что такие системы являются более молодыми, чем другие.

К числу особенностей этих и аналогичных скоплений относится богатство их звездами типов В и О, т. е. горячими звездами высокой светимости. Встречаются между прочим в них и горячие звезды с яркими линиями и звезды типа Р Лебеда. Те и другие отличаются тем, что из них происходит непрерывное истечение материи, которое во всяком случае не может продолжаться в каждой звезде больше, чем несколько сот тысяч лет, иначе будет исчерпана вся материя звезды. Поэтому такое состояние, когда в скоплении имеется непрерывно одна или несколько звезд Р Лебеда или Ве, не может продолжаться больше нескольких десятков миллионов лет. Это подтверждает молодость такого рода звездных скоплений. В свою очередь наличие в таких скоплениях большого числа горячих звезд высокой светимости является доказательством молодости этих звезд.

*Звездные ассоциации.* Еще более сильным доказательством в пользу этого является наличие рассеянных групп горячих звезд вокруг некоторых скоплений, например двойного скопления  $\chi$  и  $h$  Персея, скопления NGC 6231 и других. Эти рассеянные группы, являющиеся ассоциациями слабо связанных между собою членов, неустойчивы и по динамическим причинам должны распасться за несколько десятков миллионов лет. Я предложил бы назвать их *звездными ассоциациями*. В такой звездной ассоциации вокруг NGC 6231 имеются, среди всего двадцати звезд высокой светимости, например, две звезды Вольфа-Райе и две звезды Р Лебеда. Согласно теории протяженных фотосфер Козырева [8] звезды этих типов испускают ежегодно круглым счетом одну стотысячную долю массы Солнца. Поэтому такое истечение не может продолжаться у одной звезды без изменения больше, чем миллион или два миллиона лет. Поэтому нетрудно видеть, что такое состояние этой ассоциации звезд, имеющих несомненно общее происхождение, может длиться вообще самое большее порядка десятков миллионов лет.

Особенно замечательной является звездная ассоциация вокруг двойного скопления  $\chi$  и  $h$  Персея. В круге с радиусом в  $2\frac{1}{2}$  градуса с центром в этом скоплении расположено несколько десятков сверхгигантов типов В и М. Возможно, что в этой ассоциации имеется также немало звезд других физических типов. Принимая для этой системы расстояние в две тысячи парсек, получаем, что ее диаметр порядка двухсот парсек.

Двойное скопление образует ядро этой ассоциации. Само это ядро может обладать такой же степенью устойчивости, как и другие открытые скопления, но вся ассоциация в целом наверняка неустойчива и должна распасться под возмущающим воздействием центра Галактики, если только масса этой системы не оценивается миллионами масс Солнца. Однако никаких свидетельств в пользу столь большой массы нет.

Другим разительным примером молодых звездных ассоциаций являются группы переменных звезд типа Т Тельца.

Факты показывают, что почти все известные нам переменные звезды этого типа, отличающегося крайней нерегулярностью изменения блеска и определенными другими физическими характеристиками, сосредоточены в двух-трех определенных частях неба. Такая чрезвычайно резко выраженная тенденция к скучиванию никак не может быть связана со случайностью в их открытии. Нет никакого сомнения, что мы имеем здесь дело с членами определенных физических групп звезд. Однако линейные размеры каждой из таких групп настолько велики, что не может быть и речи, чтобы их близость в пространстве поддерживалась силами взаимного притяжения. Приливное действие, исходящее от центра Галактики, должно их весьма быстро разрушить. Скорее всего следовало бы считать, что эти звезды уже сейчас медленно расходятся. Так, одна из этих групп из 7 звезд типа Т Тельца по данным Джоя (1945) имеет центр в точке неба с галактической долготой  $142^\circ$  и широтой  $-14^\circ$ . Данные, приводимые Джоєм [9], позволяют утверждать, что линейные размеры этой системы достигают 10—20 парсек. Даже если предположить, что число членов этой системы больше тысячи, она, эта звездная ассоциация, не может долго удерживаться под влиянием внутренних сил притяжения. Вывод таков, что если мы наблюдаем сейчас эти звезды вместе, то это потому, что они недавно образовались и еще не успели рассеяться. Эта звездная ассоциация не может иметь возраст старше ста миллионов лет. Этот срок мал по сравнению с возрастом Галактики, оцениваемым нами в несколько миллиардов лет. Следовательно и сейчас, в нашу эпоху, продолжается образование звезд в Галактике. Это также чрезвычайно важный вывод из данных современной Астрофизики.

В случае звезд Т Тельца мы имеем уже дело с карликами. Кстати, они тесно связаны с небольшими комстообразными туманностями, показывают в спектрах яркие линии и, несомненно, принесут для космогонии и в дальнейшем новые важные данные. Только что опубликованное исследование Санфорда о структуре спектра Т Тельца подтверждает, что из этой звезды происходит непрерывное истечение материи. Между прочим, почти половина звезд типа Т Тельца оказалась визуально двойными. В тех случаях, когда удавалось получить спектр спут-

ника, он оказывался спектром карлика типа М с яркими линиями. Поскольку нельзя сомневаться в общем происхождении спутника и главной звезды (см. выше о двойных звездах), мы заключаем, что по крайней мере эти звезды-карлики типа М с яркими линиями являются столь же молодыми, что и звезды типа Т Тельца.

Если прибавить сюда, что в районе расположения рассматриваемой звездной ассоциации в Тельце обнаружено около 40 звезд-карликов поздних типов с яркими линиями, главным образом карликов типа М, то становится ясным, что им можно приписать общее происхождение с переменными типа Т Тельца, а следовательно считать их также очень молодыми звездами.

Поскольку большинство звезд Галактики является карликами типа М, то дальнейшее изучение этого вопроса будет иметь огромное значение для космогонии.

Необходимо также обратить внимание на то обстоятельство, что благодаря низкой абсолютной яркости звезд типа Т Тельца ассоциации звезд, из них состоящие, могут пока нами обнаруживаться лишь на небольших расстояниях от Солнца. Этому способствует также малая плотность в этих ассоциациях. Этим можно объяснить, что до сих пор нам известны только две ассоциации этих переменных и притом обе на расстояниях порядка ста парсек. Нет, поэтому, сомнений, что число подобных ассоциаций в Галактике измеряется по меньшей мере тысячами. Если возраст их в среднем порядка ста миллионов лет, то можно ожидать, что среди них попадаются и более молодые с возрастом порядка, скажем, десяти миллионов лет. Ведь нет никаких оснований считать, что за последние двести миллионов лет был такой особый момент в жизни Галактики, когда сразу, одновременно, образовались подобные ассоциации, после чего они перестали возникать.

Итак, мы можем сказать, что хотя возраст Галактики по всем данным звездной динамики порядка нескольких миллиардов лет — *образование всех звездных скоплений произошло неодновременно и продолжается и поныне*. Во всяком случае в Галактике и Магеллановых Облаках мы имеем весьма молодые звездные скопления и ассоциации, которые не могли существовать в их теперешнем виде больше, чем несколько десятков миллионов лет. Процесс образования открытых скоплений и ассоциаций в Галактике сейчас продолжается.

С другой стороны, образование звездных ассоциаций и звездных скоплений не могло произойти путем объединения в одну группу ранее независимых друг от друга звезд. Доказательства невозможности такого механического возникновения скопления (или ассоциации) из одиночных звезд носят такой же характер, как и та аргументация о двой-

ных звездах, которую мы выше привели. Разница лишь в том, что в этом случае все аргументы становятся еще сильнее, так как отношение вероятности разрушения скопления к вероятности образования скопления в результате встреч звезд при условиях, существующих в Галактике, выражается числом, содержащим сотни значущих цифр.

Таким образом, мы приходим к результату: звездные ассоциации (и некоторые скопления) как системы звезд молоды, каким-то образом возникают в нашей Галактике, но они не возникают путем объединения ранее независимых звезд. Звезды, входящие в ассоциации и скопления, следовательно, не существовали до возникновения соответствующих ассоциаций и скоплений. С другой стороны, сами эти системы по определению состоят из звезд.

Мы приходим к неизбежному выводу, что звезды в открытых скоплениях (ассоциациях) формируются в процессе возникновения этого скопления (ассоциации).

Сопоставляя это с тем, что в Галактике мы имеем весьма молодые звездные ассоциации, имеющие возраст порядка десяти миллионов лет, заключаем, что заключенные в этих ассоциациях звезды имеют такой же возраст.

Если это так, то, изучая звезды в этих звездных системах, мы должны составить представление о состояниях звезд в период непосредственно после их образования.

Мы видим здесь довольно большое многообразие состояний: звезды типа Вольфа-Райе, звезды Р Лебеда, звезды типа О и В с яркими линиями и без них, переменные карлики типа Т Тельца, желтые и красные карлика с яркими линиями.

На диаграмме радиус—светимость все эти состояния изображаются точками главной последовательности. При этом частая встречаемость ярких линий типа Р Лебеда в спектрах указанных молодых звезд является свидетельством того, что из них происходит непрерывное истечение вещества, т. е. они не находятся еще в стационарных состояниях. Возможно, что в дальнейшем они превращаются в обычные звезды главной последовательности.

Таким образом, следует предполагать, что вновь образующиеся звезды входят в диаграмму радиус — светимость не только с одного конца главной последовательности, а по всему фронту этой последовательности.

*Происхождение открытых звездных скоплений.* Спрашивается, из чего и каким образом происходит образование звездных ассоциаций и открытых звездных скоплений? Как возникают входящие в состав этих систем звезды Вольфа-Райе, типа Р Лебеда, типа Т Тельца, из которых происходит непрерывное выбрасывание вещества и которые, быть может,

впоследствии превращаются в обычные звезды главной последовательности. Нам неизвестны светящиеся звезды столь большой массы, из которых путем каких-то процессов деления могли бы возникнуть открытые звездные скопления. Очевидно, что звездные скопления и ассоциации должны возникать из каких-то темных или слабосветящихся объектов огромной массы.

При этом имеются две возможности:

а) Первоначальное тело занимало столь же большой объем, как и происшедшая из нее звездная система (скопление, ассоциация). Тогда является возможным отождествление этого первоначального тела с темной туманностью. В настоящее время можно считать доказанным наличие в Галактике большого числа темных диффузных туманностей, состоящих из космической пыли. В таком случае мы должны приписать этим туманностям массы, доходящие до нескольких сот масс Солнца, что значительно превосходит бывшие до сих пор оценки масс темных туманностей.

б) Образование звездных систем рассматриваемого типа произошло путем деления и взаимного удаления образовавшихся частей некоторого тела малых размеров по сравнению с диаметрами этих систем. Например, это могло быть тело с диаметром порядка диаметров обычных звезд. Однако для того, чтобы преодолеть силу взаимного притяжения и разойтись на большие расстояния, указанные части должны были в момент деления получить значительные кинетические энергии. Тогда спрашивается, почему эти кинетические энергии оказались почти в точности равными той, которая нужна для преодоления поля притяжения и не наблюдаются вовсе случаи, когда после преодоления этого поля звезда сохраняет значительную долю кинетической энергии, а тем самым и первоначальной скорости.

Такие звезды, правда, уходили бы из скопления, но оставались бы в Галактике в виде быстролетающих звезд. Но мы не наблюдаем в Галактике быстролетающих звезд Р Лебедя или даже В-звезд.

Сейчас не видно путей преодоления этой трудности, связанной с гипотезой первоначального тела малых линейных размеров.

Поэтому, оставляя открытым вопрос о других свойствах тел, из которых образовались скопления и ассоциации, мы должны считать достоверной низкую светимость этих объектов.

Это представление о том, что звездные скопления и ассоциации до своего образования были какими-то весьма слабосветящимися объектами, быть может весьма малого радиуса, надо поставить в связь с данными об интегральном коэффициенте излучения в звездных системах. Под интегральным коэффициентом излучения в звездной системе я понимаю количество энергии, излучаемое в единицу времени единицей

массы звездной системы. Это «макроскопическая» величина, характеризующая каждую точку системы. Оказывается, что этот коэффициент излучения (по Оорту) для некоторых эллиптических туманностей круглым счетом в сто раз меньше, чем для окрестностей Солнца в Галактике [10]. При выводе значения этого коэффициента Оорт пользовался данными о скоростях вращения этих систем. Оорт предположил, что столь низкое значение коэффициента излучения свидетельствует о больших количествах диффузной материи (космической пыли) в них. Теперь, когда мы знаем кое-что о населении эллиптических систем (Бааде), ясно, что эти системы гораздо беднее диффузной материей, чем Галактика, они почти лишены ее (см. добавление 2). Остается предположить наличие большого количества объектов низкой светимости и сравнительно большой массы.

*Происхождение красных гигантов.* Встает вопрос, каков же путь эволюции В-звезд после образования их из каких-то, доселе неизвестных объектов?

И на этот вопрос сейчас трудно дать ясный ответ. Однако стоит обратить внимание на тесную связь горячих звезд с холодными сверхгигантами и переменными звездами поздних типов. Сейчас известно уже большое количество объектов, показывающих в спектре с одной стороны характеристики звезды типа О или В, с другой — характеристики холодных звезд типа М. Достаточно назвать знаменитую звезду R Водолея, у которой не только совокупность линий, но даже непрерывный спектр как будто является наложением непрерывных спектров двух звезд — горячей и холодной.

Теперь, после работ ленинградского астрофизика Соболева, ясно, что на самом деле мы не имеем здесь дело со сложением спектра двух звезд, а речь идет о сложении спектра горячего ядра и внешней сравнительно холодной оболочки.

Уже небольшое увеличение оптической толщины оболочки приводит к полному ослаблению прямого излучения горячего ядра и распределение энергии целиком становится соответствующим типу М. Наличие ядра обнаруживается только благодаря эмиссионным линиям. При еще большей толщине оболочки должны пропасть и эмиссионные линии. Мы будем иметь обычный холодный гигант или сверхгигант.

Известно также, что массы сверхгигантов типа М равны массам звезд В и О. Также равны светимости обеих категорий звезд.

Если бы внутреннее строение желтых и красных сверхгигантов и гигантов отличалось бы существенно от внутреннего строения звезд главной последовательности, обладающих той же массой, то естественно было бы ожидать другой производительности источников энергии в них. Между тем они подчиняются тому же соотношению между массой и

светимостью, которое установлено для звезд главной последовательности. Это также заставляет думать, что существенной разницы во внутреннем устройстве звезд ветви гигантов и главной последовательности нет. Только устройство внешних слоев различно.

Таким образом, получается, что звезды типа В и О, т. е. горячие звезды высокой светимости, окружая себя разреженными оболочками достаточно большого радиуса, могут представиться такими холодными сверхгигантами.

С точки зрения пространственного распределения, которое, как мы увидим далее, является известным критерием генетического родства объектов двух типов, здесь обстоит благополучно. Пространственные распределения звезд типа В и звезд-сверхгигантов поздних типов весьма сходны.

С этой точки зрения имеют огромное значение факты о вращении звезд, установленные за два последние десятилетия академиком Шайном и американским астрофизиком Струве. Они указывают на то, что весьма значительная часть звезд типов В и А обладает быстрым вращением. Если эволюция этих звезд шла бы вдоль главной последовательности в сторону карликов, то среди последних мы должны были бы наблюдать, в силу закона сохранения вращательного момента, еще большие скорости вращения. Между тем наблюдения свидетельствуют об обратном. Правда, часть вращательного момента могла бы быть унесена выброшенным веществом. Но нам пришлось бы предположить, что существует какой-то особый механизм, приводящий к тому, что подавляющая часть вращательного момента уходит с выброшенным веществом. Такой механизм пока еще не был предложен. Между тем при образовании сверхгиганта позднего типа из звезды типа В линейная скорость вращения в силу того же закона сохранения момента должна уменьшаться, что и наблюдается в действительности.

Впрочем, я должен здесь оговориться, что требование выполнения закона сохранения вращательного момента независимо от указанного вопроса приводит к трудностям в целом ряде других вопросов космогонии. Здесь я имею в виду не только проблему происхождения солнечной системы, но и весь комплекс вопросов, связанных с происхождением кратных звезд.

Между прочим именно эти трудности, связанные с вращательным моментом, заставили в последнее время многих авторов, идущих по пути составления абстрактных космогонических гипотез, снова обратиться к гипотезе о захвате (готовых спутников или первоначального вещества— это все равно). Между тем все фактические данные убедительно говорят о том, что образование и эволюция систем небесных тел происходят вследствие внутренних причин, по законам внутреннего развития и

серьезные трудности, связанные с вращательными моментами, указывают лишь на существование каких-то, нами еще невыясненных эффектов, введение которых устранил эти трудности.

Наличие этих трудностей показывает, что в теоретическом отношении космогонические явления оказываются гораздо более глубокими, чем мы до сих пор думали. Здесь в этой старой проблеме, по-видимому, мы должны еще столкнуться с целым рядом качественно новых оригинальных явлений, представляющих для науки принципиальную новизну.

Однако постановка этих вопросов движется вперед пока еще весьма медленно вследствие отсутствия правильной теории внутреннего строения звезд.

Огромное значение для космогонии имеют данные современной Астрофизики о некоторых чрезвычайно быстро протекающих этапах развития звезд. В то время как продолжительность жизни большинства звезд измеряется миллиардами лет, т. е. для большинства этапов эволюции требуются такие сроки, по сравнению с которыми человеческая жизнь и даже продолжительность всей истории человеческих астрофизических наблюдений представляется мигмом, мы наряду с этим являемся свидетелями того, когда в течение нескольких дней, а иногда часов, непосредственно наблюдаются изменения в строении звезды. Примером такого рода процессов могут служить вспышки Новых звезд.

*Новые звезды.* Вспышки Новых звезд представляют собой совершенно поразительные по масштабу и скорости космические явления. В течение нескольких десятков часов звезда увеличивает свою яркость в несколько десятков тысяч раз. Она выбрасывает в окружающее пространство газовую оболочку (со скоростью порядка тысячи километров в секунду), составлявшую до этого часть ее массы. По-видимому, мы здесь имеем дело с гигантским взрывом, связанным с почти мгновенным освобождением больших количеств внутриатомной энергии. Милн предположил, что вспышка Новой звезды представляет собой процесс быстрого перехода из состояния «обычной» звезды в состояние белого карлика.

Однако статистические данные о частоте вспышек Новых в звездных системах убеждают нас в том, что по крайней мере с частью звезд, входящих в звездные системы, вспышка происходит в течение жизни не один раз, а много раз.

В связи с этим следует упомянуть о прекрасном исследовании московских астрономов Кукаркина и Паренаго [11], касающемся Новоподобных переменных.

Дело в том, что наряду с Новыми звездами уже давно известны так называемые Новоподобные переменные, т. е. такие звезды, которые испытывают вспышки через определенные, хотя и непостоянные проме-

жутки времени. Эти вспышки имеют обычно меньший масштаб, чем вспышки Новых. Несмотря на неодинаковость промежутка времени между двумя последовательными вспышками, т. е. непостоянство цикла, для каждой Новоподобной переменной мы имеем некоторую среднюю длину цикла между двумя последовательными вспышками.

Оказалось, что существует простая функциональная зависимость между средней длиной цикла и средней амплитудой изменения яркости. Чем больше амплитуда, тем длиннее средний цикл. Если эту зависимость экстраполировать до амплитуд обыкновенных Новых, то получится, что вспышки каждой Новой должны повторяться раз в несколько тысяч лет. Иными словами, возникла мысль, что Новые отличаются от Новоподобных переменных лишь длиной цикла.

Предположения Паренаго и Кукаркина нашли блестящее подтверждение, когда в прошлом году произошла на наших глазах вторая вспышка звезды Т Северной Короны, первая вспышка которой имела место в 1866 году. Поскольку до 1946 года наблюдалась только одна вспышка этой звезды, она считалась обыкновенной Новой. Промежуток времени между двумя вспышками оказался в полном соответствии с указанной зависимостью между амплитудой и длиной цикла.

Таким образом, ныне не подлежит сомнению, что все обыкновенные Новые являются рекуррентными.

В результате расчетов, ведущихся моими сотрудниками, многими методами было произведено определение масс оболочек, выбрасываемых при вспышках Новых [12]. Оказалось, что при каждой вспышке выбрасывается масса порядка  $10^{-5}$  массы Солнца. Естественно отсюда заключить, что при каждой отдельной вспышке структура Новой меняется мало (так как и масса меняется мало), но целый ряд последовательных вспышек приводит к коренному изменению структуры звезды.

Встает вопрос: переходу между двумя какими состояниями соответствует эта последовательность вспышек Новой, сопровождаемая существенным изменением массы?

Тот же самый вопрос можно задать и по отношению к Новоподобным переменным.

Наконец, огромное значение имеют Сверхновые, т. е. такие взрывы звезд, при которых звезды на несколько дней становятся в сотню миллионов раз ярче Солнца. Расчет показывает, что в случае вспышек Сверхновых сразу выбрасывается масса, составляющая во всяком случае заметную долю массы звезды. Поэтому одна вспышка такой Сверхновой означает уже изменение всей структуры звезды, происходящее скачкообразно.

Опять встает вопрос, чем были Сверхновые до вспышки и во что они превращаются после вспышки?

Подобные примеры, когда задано промежуточное состояние или переходный процесс, но неизвестны начальное и конечное состояния, можно было бы умножить.

Современная Астрофизика наряду с Новыми звездами, Сверхновыми, Новоподобными переменными знает целую вереницу типов звезд, которые могут быть подведены под одну общую категорию нестационарных звезд (звезды типа Ве, типа Z Андромеды, планетарные туманности и пр.). Все эти нестационарные состояния являются состояниями переходными и имеют ограниченную продолжительность. Они связывают между собой в каждом случае два разных этапа жизни звезды и вопрос о том, какие предшествующие и последующие состояния соответствуют данным нестационарным состояниям, является чрезвычайно существенным.

Приведу здесь еще один пример, для того, чтобы потом указать на возможный путь решения подобного рода задач.

*Короткопериодические цефеиды.* Короткопериодические цефеиды образуют резко очерченную группу звезд, выделяющихся целым рядом своих особенностей. Изменения их яркости сопровождаются изменениями радиуса, т. е. пульсациями. В каком состоянии они были до начала пульсаций, в какое они переходят после окончания пульсаций и какова продолжительность стадии переменности?

Обозначим состояние до вступления в стадию короткопериодической цефеиды через  $X$ , а после выхода из нее — через  $Y$ . Спрашивается, каковы  $X$  и  $Y$ ?

Следующий метод может дать указание о том, среди каких физических типов звезд следует искать  $X$ - и  $Y$ -звезды.

Дело в том, что распределение скоростей звезд не может измениться чувствительно за промежуток времени, который мал по сравнению с продолжительностью всей жизни звезды. Поэтому распределение скоростей короткопериодических цефеид должно быть в рассматриваемом случае похоже на распределение скоростей как  $X$ -звезд, так и  $Y$ -звезд.

Поскольку распределение скоростей определяет собой пространственное распределение звезд, то то же самое можно сказать о соответствующих пространственных распределениях. Но пространственное распределение короткопериодических цефеид имеет ту весьма важную особенность, что эти звезды встречаются на очень больших расстояниях от Галактической плоскости. Следовательно и  $X$ - и  $Y$ -звезды также должны встречаться в соответствующих частях пространства. Чем короче продолжительность стадии переменности по сравнению со стадиями  $X—Y$ , тем больше должно быть число звезд  $X—Y$  по сравнению с короткопериодическими цефеидами. С этой точки зрения интересна опубликованная в этом году работа Хюмасона и Цвикки [13] о наличии известного

количества голубых звезд в высоких галактических широтах, показывающая, что в рассматриваемых областях пространства, наряду с короткопериодическими цефеидами и шаровыми скоплениями, существуют в заметном числе и другие звезды. Данные об их численности очень скудны, но они заставляют заключить, что, по-видимому, продолжительность стадии короткопериодической цефеиды не может быть очень мала по сравнению со всей длительностью жизни звезды. Она измеряется по меньшей мере десятками миллионов лет, если не больше. Впрочем, для окончательных выводов нужно еще получить данные о численности карликов в этих областях пространства.

То, что мы сказали о короткопериодических цефеидах, применимо и к другим переходным стадиям (Новые, Сверхновые, планетарные туманности и т. д.). Мы должны искать другие стадии развития этих объектов среди звезд, обладающих похожим пространственным распределением. К сожалению, пока еще мы плохо знаем галактические пространственные распределения для отдельных физических типов, так как переход от видимого распределения по небу к пространственному чрезвычайно труден. Но, например, уже сейчас можно сказать, что существует сходство между распределением планетарных туманностей и распределением обыкновенных карликов. Можно было бы привести и целый ряд других интересных примеров из этой области, но целесообразнее подождать до накопления более полных данных о пространственном распределении и законах распределения скоростей звезд различной физической природы.

*Планетарные туманности.* Еще недавно казалось, что мы близки к разрешению вопроса о происхождении планетарных туманностей. Дело в том, что газовые оболочки, выбрасываемые при вспышках Новых звезд, имеют известное сходство с планетарными туманностями. Было, однако, установлено, что массы планетарных туманностей измеряются по крайней мере сотыми (если не десятymi) долями солнечной массы и поэтому в тысячи раз превосходят массы оболочек, выбрасываемых Новыми. С другой стороны, было установлено, что яркость Новой в максимуме тем выше, чем больше выбрасываемая масса. Следовательно, если только планетарные туманности образовались в результате взрывов, аналогичных вспышке Новой, то масштаб таких взрывов должен был быть гораздо больше и яркость вспыхнувшей звезды в максимуме в тысячи раз выше, чем у Новой. Естественно было предположить, что такими взрывами, приводящими к образованию планетарных туманностей, являются вспышки Сверхновых.

Заметим, что предположение о том, что планетарные туманности образуются в результате выбрасывания оболочки центральными звездами, само по себе вряд ли может вызвать какие-либо сомнения. На-

блюдения указывают на то, что наблюдаемые нами планетарные туманности находятся в процессе расширения. С другой стороны, теоретически доказано, что планетарная туманность не может находиться в состоянии статического равновесия.

Наблюдаемые скорости расширения планетарных туманностей позволяют рассчитать, что возраст их не может по порядку величины превосходить десять тысяч лет, так как за этот срок они должны рассеиваться в пространстве и делаться невидимыми. С другой стороны, по подсчетам, произведенным Паренаго [14], число всех планетарных туманностей в нашей Галактике должно быть порядка 15 000. При этих условиях для того, чтобы поддерживать число планетарных туманностей на этом уровне, нужно, чтобы в среднем ежегодно возникало больше одной планетарной туманности.

Между тем по имеющимся данным в одной Галактике в среднем вспыхивает одна Сверхновая в пятьсот лет. Поэтому вспышки Сверхновых не могут быть отождествлены с процессами возникновения планетарных туманностей. Следовательно вопрос о происхождении планетарных туманностей требует дальнейшего изучения.

Что же касается Сверхновых то следует обратить внимание на высказанное недавно Русаковым [15] предположение о том, что в результате вспышек Сверхновых возникают диффузные туманности.

*Эволюционная связь между звездами и межзвездной материей.* Эта связь является одной из интереснейших проблем Астрофизики. Авторы так называемых космогонических гипотез весьма часто стремились доказать, что звезды и другие небесные тела возникли из туманностей. Межзвездная материя и представляет собой совокупность туманностей. Мы уже видели, что современная Астрофизика знает много случаев, когда разреженная материя в газовом состоянии выбрасывается из звезд. Имеются также весьма веские основания считать, что из межзвездного газа могут концентрироваться частицы межзвездной пыли.

Наличие обратных процессов—превращения диффузной материи в звезды, пока не доказано. Теоретическая возможность их надлежащим образом не обоснована и нуждается в изучении.

Следует, однако, обратить внимание, что диффузные туманности встречаются в тех же галактиках и в тех же областях галактик, где часто встречаются открытые скопления, звезды типов О и В и другие молодые образования. Диффузные туманности принадлежат по терминологии Бааде к первому типу населения Галактики. Поэтому их эволюционная роль заслуживает тщательного изучения.

*Два типа населения звездных систем.* Установление двух типов населения звездных систем является фундаментальным фактом, которым нельзя игнорировать при изучении проблем звездной эволюции. Посколь-

ку пространственное распределение звезд, составляющих население этих двух типов, отличается резко друг от друга — нужно допустить, что постоянные переходы из состояний, входящих в один из этих типов, в состояния, входящие в другой тип, не происходят. Поэтому короткопериодические цефеиды и другие объекты II типа не связаны эволюционно непосредственно со звездами типа В, О, Вольфа-Райе и другими. Однако ни в коей мере не исключается более глубокая эволюционная связь, уходящая корнями в период формирования нашей Галактики.

Факты, установленные в отношении различных типов населения галактик, уже заставили многих отказаться от прежних ошибочных представлений (например от представления о том, что эллиптические туманности являются начальным этапом развития галактик).

Здесь мы хотим обратить внимание лишь на следующее обстоятельство. В галактиках типа Магеллановых Облаков мы имеем большое обилие сверхгигантов, звезд типа Р Лебеда и открытых скоплений. Все это, несомненно, молодые образования. В частности в Большом Магеллановом Облаке обращает на себя внимание большое число открытых скоплений, куда входят в значительном количестве сверхгиганты и которые имеют необычно большие линейные размеры. Так, скопление NGC 1910, куда входит ярчайший из известных сверхгигантов — имеет диаметр порядка 70 парсек.

С другой стороны, известно, что открытые скопления, наблюдаемые в Галактике, имеют диаметры порядка двух-трех парсек. Создается впечатление, что Большое Магелланово Облако гораздо богаче открытыми скоплениями большого диаметра.

На самом деле разница кажущаяся. Легко видеть, что рассмотренные выше звездные ассоциации в Галактике, содержащие большое число сверхгигантов, при наблюдении из внешних галактик должны целиком выделяться на галактическом звездном фоне, поскольку сверхгиганты — весьма редки среди звезд фона. Для наблюдателя же, расположенного внутри нашей Галактики, эти сверхгиганты имеют такую же видимую яркость, как и звезды низкой абсолютной яркости, находящиеся близко к наблюдателю, и теряются среди последних. Такому наблюдателю бросаются в глаза лишь ядра ассоциаций, являющиеся обычными галактическими скоплениями.

Так, при наблюдении с Магеллановых Облаков ассоциация звезд вокруг  $\chi$  и  $\eta$  Персея должна выделяться как гигантское звездное скопление диаметром в двести парсек с двойным ядром.

Очевидно, что такого размера ассоциации в Большом Магеллановом Облаке нет.

Полностью значение фактов, относящихся к разным типам населения галактик, станет ясным в ближайшие годы. Они помогут быстрее

обобщить тот фактический материал, который относится к нашей Галактике.

Мы привели здесь только отдельные примеры, показывающие фундаментальное космогоническое значение многих фактов, устанавливаемых современной Астрофизикой. Эти примеры дают справедливые ответы на многие вопросы, но их пока еще невозможно слить в единую теорию развития звезд.

В частности, как видите, мы пока еще не сделали никаких выводов о процессе образования планет.

Но становится очевидным, что в дальнейшем космогония все больше будет опираться на солидную и широкую базу, состоящую из фактов, установленных современной Астрофизикой, и все больше терять характер спекулятивной дисциплины, что было ей присуще даже в недавнем прошлом.

Приятно видеть, что советские астрономы занимают виднейшее место в разработке этого направления в науке. Сейчас, благодаря исключительному вниманию Советского Правительства, происходит полнейшая реконструкция наблюдательной базы нашей Астрономии. Это позволит в ближайшее время закрепить руководящую роль советских астрофизиков при разрешении поставленных выше проблем.

К вопросу об отсутствии диссоциативного  
равновесия в звездной системе

В звездной системе с точки зрения механической возможны как процессы разрушения звездных пар, так и процессы, приводящие к созданию пары из двух одиночных звезд. Разрушение пары может происходить при прохождении мимо пары третьей, возмущающей звезды. Обратный процесс, когда встречаются три звезды и когда под действием одной из звезд две другие образуют пару, отдавая энергию относительного движения первой звезде — приводит к образованию двойной звезды. В звездной системе с течением времени должно установиться диссоциативное равновесие, при котором эти противоположные процессы компенсируют друг друга.

Поставим себе задачу выяснить — имеется ли диссоциативное равновесие в Галактике в настоящее время.

При этом для определенности рассмотрим пары, составленные из двух видов звезд: звезды вида  $\alpha$  с массами  $m_\alpha$  и звезды вида  $\beta$  с массами  $m_\beta$ . Допустим, что  $m_\alpha > m_\beta$ .

Число одиночных звезд  $\alpha$  и  $\beta$  в единице объема обозначим соответственно через  $n_\alpha$  и  $n_\beta$ . Выберем теперь из единицы объема все пары  $\alpha\beta$ , для которых расстояние между компонентами заключено в пределах между  $r_1$  и  $r_2$ . Число таких пар пусть будет  $n_{\alpha\beta}(r_1, r_2)$ . Для числа таких пар формула диссоциации дает:

$$\frac{n_{\alpha\beta}(r_1, r_2)}{n_\beta} = \frac{\Gamma(r_1, r_2)}{(2\pi m_\beta \Theta)^{3/2}} n_\alpha, \quad (1)$$

где  $\Gamma(r_1, r_2)$  есть сумма по состояниям, соответствующим всем возможным состояниям спутника  $\beta$  вокруг одной звезды  $\alpha$ , при которых расстояние заключено между  $r_1$  и  $r_2$ .

Здесь  $\frac{3}{2} \Theta$  — средняя кинетическая энергия одиночных звезд.

Мы имеем:

$$\Gamma(r_1, r_2) = \int e^{-\frac{\varepsilon}{\Theta}} d\Gamma_p,$$

где интегрирование распространено на область фазового пространства, в которой расстояние до главной звезды заключено в рассматриваемых пределах.

Возьмем теперь эти пределы такими, чтобы в этой части фазового пространства было всюду  $\varepsilon \ll \Theta$ . Это требование, например, будет удовлетворено, если взять

$$r_1 = 100 \text{ а.е.} \quad r_2 = 1000 \text{ а.е.}$$

Тогда  $e^{-\frac{\varepsilon}{\Theta}}$  под знаком интеграла можно будет заменить единицей и

$$\begin{aligned} \Gamma(r_1, r_2) &= \int d\Gamma = \iiint \iiint \iiint dx dy dz dp_x dp_y dp_z = \\ &= 16\pi^2 \int_{r_1}^{r_2} dr \int_0^{P_0} r^2 p^2 dp, \end{aligned}$$

где  $p$  величина вектора импульса. На данном расстоянии  $r$  от центральной звезды, при эллиптическом движении,  $p$  не может быть выше предела  $P_0$ , определяемого формулой

$$\frac{P_0^2}{2m_p} = \frac{Gm_a m_p}{r},$$

иначе спутник будет гиперболическим. Поэтому

$$\int_0^{P_0} p^2 dp = \frac{P_0^3}{3} = \frac{1}{3} m_p^3 \left( \frac{2Gm_a}{r} \right)^{3/2},$$

откуда следует, что

$$\Gamma(r_1, r_2) = \frac{16}{3} \pi^2 m_p^3 (2Gm_a)^{3/2} \int_{r_1}^{r_2} r^{1/2} dr = \frac{32}{9} \pi^2 m_p^3 (2Gm_a)^{3/2} (r_2^{3/2} - r_1^{3/2})$$

или так, как в данном примере,  $r_2^3 \gg r_1^3$

$$\Gamma(r_1, r_2) = \frac{32}{9} \pi^2 m_p^3 (Gm_a r_2)^{3/2}.$$

Подставляя этот результат в (1), найдем:

$$\frac{n_{\alpha\beta}(r_1, r_2)}{n_\beta} = \frac{32}{9} \pi^{1/2} \left( \frac{Gm_\beta m_\alpha}{r_2 \Theta} \right)^{3/2} n_\alpha r_2^3.$$

Входящие в правую часть два безразмерных множителя

$$n_\alpha r_2^3 \text{ и } \left( \frac{Gm_\beta m_\alpha}{r_2 \Theta} \right)^{3/2}$$

имеют очень простой физический смысл:

Первый из них означает число звезд  $\alpha$ , приходящихся на сферу с радиусом  $r_2 = 1000$  а.е. Число всех звезд, приходящихся на такой объем, меньше  $10^{-7}$ . Тем меньше это число для каждого отдельного вида звезд  $\alpha$ . Второй множитель представляет собой две трети отношения потенциальной энергии в паре с расстоянием в 1000 а.е. к средней кинетической энергии одиночной звезды, возведенного в степень  $3/2$ . Численное его значение во всяком случае меньше  $10^{-4}$ , если только не брать  $m_\alpha$  во много десятков раз больше массы Солнца.

Поэтому получаем:

$$\frac{n_{\alpha\beta}(r_1, r_2)}{n_\beta} < 10^{-10}.$$

Между тем, наблюдения показывают, что пары с расстояниями компонентов от 100 до 1000 а.е. составляют значительную долю всех пар. Солидная доля визуально-двойных обладает именно такими расстояниями. Если брать главные звезды всех видов  $\alpha$ , то во всяком случае

$$\frac{n(r_1, r_2)}{n_\beta} > 10^{-2}.$$

Таким образом, наблюдаемый процент двойных с рассматриваемыми расстояниями по отношению к одиночным в  $10^8$  раз превосходит тот процент, который должен был быть при диссоциативном равновесии.

Так как, с другой стороны, при диссоциативном равновесии число разрушений пар равно числу рекомбинаций, то можно сказать, что число разрушений пар при теперешнем состоянии звездной системы более чем в  $10^8$  раз превосходит число случаев образования пар в результате тройных сближений.

В заключение заметим, что выше мы ограничились парами с определенными расстояниями для того, чтобы придать большую определенность диссоциативной формуле. Если говорить о всех парах вообще, то

следовало бы ввести верхнюю и нижнюю границу для расстояний (верхняя граница обуславливается тем, что расстояние в паре не может быть больше средних межзвездных расстояний, нижняя наличием физического радиуса звезды). Их определение потребовало бы дополнительных выкладок, кроме того, нижняя граница оказалась бы зависящей от типа звезд. При этом, однако, получились бы аналогичные выводы.

О количестве поглощающего вещества в  
эллиптических туманностях

С макроскопической точки зрения мы можем охарактеризовать каждую звездную систему заданием в ней объемного коэффициента излучения  $\eta$  и коэффициента поглощения  $\alpha$  как функций точки. Тогда интенсивность света, выходящего из системы, будет определяться формулой:

$$I = \int_0^{\infty} e^{-\tau} \eta ds, \quad (1)$$

где  $ds$  — элемент пути луча, а оптическая глубина  $\tau$  есть функция точки с абсциссой  $s$  на луче.

$$\tau = \int_0^s \alpha ds.$$

Поскольку  $d\tau = \alpha ds$ , уравнение (1) перепишем в виде:

$$I = \int_0^{\tau_1} e^{-\tau} B d\tau,$$

где

$$B = \frac{\eta}{\alpha},$$

а  $\tau_1$  есть полная оптическая толщина всей системы в рассматриваемом направлении.

Вынося среднее значение  $B$  за знак интеграла, получаем:

$$I = \bar{B} (1 - e^{-\tau_1}), \quad (2)$$

откуда

$$\bar{B} > I. \quad (3)$$

Наблюдая яркость Млечного Пути в каком-нибудь направлении в галактическом экваторе, мы можем считать оптическую толщину в этом направлении очень большой. Поэтому для интенсивности в Млечном Пути, согласно (2), будем иметь:

$$I_M = \bar{B}_{\text{гал.}}. \quad (4)$$

С другой стороны, наблюдая центральные области эллиптических туманностей, мы встречаем интенсивности почти в сто раз большие, чем яркость Млечного Пути:

$$I_{\text{эл.}} = 100 I_M = 100 \bar{B}_{\text{гал.}}$$

Сравнивая с (3), получаем:

$$\bar{B}_{\text{эл.}} > 100 \bar{B}_{\text{гал.}}$$

Или

$$\left(\frac{\eta}{\alpha}\right)_{\text{эл.}} > 100 \left(\frac{\eta}{\alpha}\right)_{\text{гал.}},$$

иными словами, отношение коэффициента излучения к коэффициенту поглощения, т. е. количества светлой материи к количеству темной материи в эллиптических туманностях больше чем в сто раз превосходит это отношение в окружающей Солнце части Галактики.

Таким образом, уже один факт высокой поверхностной яркости эллиптических туманностей приводит к заключению о практическом отсутствии в них поглощающей материи, по крайней мере в непрерывно-распределенном виде.

Наблюдения не устанавливают также наличия в них отдельных темных облаков.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. Амбарцумян и Г. Шайн, *Астрономический журнал*, **13**, 1, 1936.
2. П. П. Паренаго, *Астрономический журнал*, **21**, 223, 1944.
3. В. Амбарцумян, *Природа*, № 2, стр. 21, 1939.
4. Джинс, *Nature*, **136**, 432, 1935.
5. В. А. Амбарцумян, *Астрономический журнал*, **14**, 207, 1937.
6. В. А. Амбарцумян, Там же, стр. 217—218.
7. В. А. Амбарцумян, *Ученые записки ЛГУ*, № 22, 19, 1938.
8. Н. А. Козырев, *Monthly Notices of RAS*, **94**, 430, 1934.
9. Джой, *Astrophysical Journal*, **102**, 168, 1945.
10. Оорт, *Astrophysical Journal*, **91**, 273, 1940.
11. Б. В. Кукаркин и П. П. Паренаго, *Переменные звезды*, том I, 217, Москва, 1937.
12. В. А. Амбарцумян, *Теоретическая астрофизика*, стр. 244, Ленинград, 1939.
13. Хьюмасон и Цвикки, *Astrophysical Journal*, **105**, 85, 1947.
14. П. П. Паренаго, *Доклад на совещании по звездной астрономии*, Москва, 1947.
15. Г. И. Русаков, *Диссертация*, Ленинград, 1947.