
ВЕСТНИК АКАДЕМИИ НАУК СССР

ГОД ИЗДАНИЯ

XXVII

11

НОЯБРЬ

1957

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

МОСКВА

О ПРОБЛЕМЕ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЗВЕЗД

Академик В. А. АМБАРЦУМЯН

За сорок лет, истекших со времени Великой Октябрьской социалистической революции, совершенно преобразовалась астрофизика — наука о физических явлениях во Вселенной. Использование больших телескопов и новой измерительной аппаратуры, основанной на принципах электронной техники, дало возможность расширить наши знания о физических процессах, происходящих в звездах и в межзвездной среде. Современная теоретическая физика помогла правильно истолковать наблюдательные данные и понять самую сущность этих процессов. Возникла новая наука — теоретическая астрофизика, дающая возможность теоретически рассчитать многие явления, происходящие в небесных объектах, и даже предсказать новые явления, которые раньше не наблюдались.

Особенно высоко должны быть оценены достижения советской астрофизики. До революции, благодаря работам академиков Бредихина, Белопольского и их учеников в нашей стране значительное развитие получила лишь наблюдательная астрофизика. В настоящее время положение радикально изменилось, и наши астрофизики, в ряде случаев занимающие ведущее место в теоретических исследованиях, часто выступают авторами весьма интересных новых идей и направлений в этой науке.

Примерно в тридцатых годах советскими астрофизиками были сделаны первые робкие шаги и в области звездной космогонии. Из обширного наблюдательного материала сперва в очень неопределенном и нечетком виде стали выступать отрывочные данные, относящиеся к эволюции звезд. Этот процесс рождения современной научной звездной космогонии шел сперва весьма медленно, но по мере накопления наблюдательных данных успех в их интерпретации стал возрастать. В конце сороковых годов оформились первые значительные успехи в изучении происхождения звезд и звездных систем. В дальнейшем это привело к очень ценным результатам.

Мы хотим изложить здесь ряд интересных результатов, полученных советскими астрофизиками при решении проблемы происхождения и эволюций звезд. При этом основное внимание мы уделим тому кругу идей, который возник из работ кафедры астрофизики Ленинградского университета и получил дальнейшее развитие в работах Бюраканской астрофизической обсерватории Академии наук Армянской ССР. Эти идеи и методы развились в тесном взаимодействии с работами других советских астрономических коллективов, из которых в первую очередь следует упомянуть Пулковскую обсерваторию, Крымскую астрофизическую обсерваторию и Астрономический институт им. П. К. Штернберга. Однако для единства изложения мы нашли целесообразным взять за основу то понимание проблем звездной космогонии, которое развилось под влиянием работ, выполненных в Ленинграде и Бюракане.

*

Говоря о проблеме происхождения и развития звезд, обычно имеют в виду те звезды, которые входят в состав нашей звездной системы — Галактики. Нас интересует, когда и как возникло большинство звезд Галактики, какова продолжительность их жизни, есть ли эволюционная связь между звездами и другими объектами в Галактике, например газовыми туманностями.

Основной трудностью при разрешении этих вопросов является то, что эволюционные изменения в звездах происходят, как правило, весьма медленно, так что жизнь человека и даже вся история астрономических наблюдений кажется мигмом по сравнению с длительностью этих изменений. Большинство этих процессов не может быть непосредственно наблюдаемо.

Поэтому картину происхождения и развития звезд можно надеяться нарисовать лишь на основе тщательного изучения и сопоставления всех известных нам фактических данных о физическом состоянии многих звезд.

Поражает огромное разнообразие этих физических состояний. В конце прошлого века все звезды делились на очень небольшое число классов в зависимости от вида их спектра. В дальнейшем были введены многочисленные спектральные подклассы, а также подразделения, указывающие на большую или меньшую светимость. Выяснилось, что звезды одного и того же спектрального класса и даже подкласса и одной и той же светимости обладают различными скоростями вращения вокруг своей оси, что обуславливает дополнительные различия в физическом состоянии звезд. Имеются также особенности, возникающие вследствие различия в химическом составе, наличия магнитных полей, истечения вещества из атмосферы звезд и т. д.

Но звезды отличаются друг от друга не только по своему физическому состоянию. Они отличаются и по характеру своих связей с другими звездами. Все звезды Галактики обращаются вокруг ее центра. Однако в то время, как одни из звезд совершают это движение в одиночку (например наше Солнце), другие двигаются вокруг центра Галактики в составе двойных, тройных, кратных звезд и звездных скоплений. Наличие таких «малых коллективов» является характерной особенностью Галактики. Эти малые системы отличаются друг от друга по своему строению и состоянию в данный момент. Обнаруживаются интересные закономерности между физическим состоянием звезд и их положением в составе того коллектива, куда они входят. Эти закономерности могут быть объяснены только тогда, когда станет известен механизм возникновения различных звезд и звездных групп.

Еще совсем недавно вопрос о происхождении звезд рассматривался совершенно независимо от вопроса о происхождении звездных групп (кратных звезд и скоплений). В результате работ советских астрономов, как мы увидим далее, выяснилось, что эти вопросы связаны между собой теснейшим образом. Теперь, когда оказалось, что звезды возникают группами, сама постановка вопроса о происхождении отдельной звезды как одиночного объекта кажется недопустимой. Однако не так было еще десять лет тому назад. Конечно, и тогда сознавалось, что каждая звезда находится в поле притяжения других звезд. Однако можно показать, что гравитационное воздействие других звезд и вообще всей Галактики на внутреннее строение звезды должно быть ничтожным. Каждую звезду можно было бы считать замкнутой системой, если бы не было излучения звезды. Это излучение связывает звезду с внешним миром. Но связь эта односторонняя. Количество энергии, излучаемое звездой, и ее качество определяются внутренними условиями в звезде. Внешние силы почти не

вливают на внутреннюю жизнь звезды, которая развивается в результате взаимодействия внутренних сил и процессов.

Если это так, то намечался следующий простой и логичный путь для разработки вопросов звездной эволюции. На основе законов теоретической физики можно определить внутреннее строение звезды, находящейся в состоянии равновесия и обладающей теми или иными наблюдаемыми характеристиками (масса, светимость, радиус и др.). Это означает, что, предполагая равновесие в каждой точке звезды, мы должны уметь вычислить значения плотности, температуры и давления как функции расстояния до центра данной звезды. Когда эта задача решена для какой-либо звезды, мы говорим, что построена модель ее внутреннего строения.

Поскольку звезда излучает, источники энергии излучения в ней постепенно иссякают, что должно вызвать изменение состояния звезды. В измененном состоянии температура, плотность и давление получают в каждой точке звезды иные значения, мы получим другую, измененную модель, которой будут соответствовать другие наблюдаемые характеристики.

Таким образом, представляется возможность построить цепь моделей, которые будут определять весь ход развития звезды. При этом, однако, весьма существенным является введение определенных предположений о природе источников звездной энергии. Показано, что при температурах звездных недр должно выделяться много энергии в результате термоядерных реакций, приводящих к превращению водорода в гелий. Однако предположение о том, что именно эти ядерные превращения являются основным источником энергии звездного излучения, произвольно и требует серьезных подтверждений.

С другой стороны, хотя в течение большей части жизни звезды ее можно рассматривать как автономный организм, мы не можем быть уверены, что в эпоху возникновения звезды внутренние процессы были свободны от внешних воздействий. Для решения этого вопроса надо знать условия, при которых возникла звезда. Но метод моделей встречает непреодолимые трудности при попытке экстраполировать назад во времени изменения во внутреннем строении звезды, чтобы найти то состояние, в котором была звезда непосредственно после своего формирования. Более того, вносимые при применении этого метода произвольные предположения делают недостаточно надежным и его приложение к более поздним стадиям жизни уже сформировавшейся звезды.

Между тем применение методов теоретической механики и статистической физики позволяет с большой достоверностью проследить за эволюционными изменениями, происходящими в звездных группах и даже в совокупностях таких групп. Мы можем экстраполировать во времени назад все изменения, происходящие в этих группах, не делая при этом сколько-нибудь существенных произвольных предположений. Поэтому заключения, получаемые звездной динамикой для начальных состояний звездных групп, являются довольно надежными. Они ведут к определенным выводам о происхождении этих групп, в том числе и о происхождении составляющих их звезд. Именно из этих соображений в звездной космогонии возникло направление, использующее звездно-динамические методы для получения космогонических выводов. Это направление получило наибольшее развитие в Советском Союзе.

Сочетание звездно-динамических методов исследования с тщательным изучением физической природы звезд, входящих в звездные группы, находящиеся на различных этапах развития, дало возможность значительно расширить получаемые космогонические результаты.

В прошлом столетии и отчасти в первой половине нашего столетия было выдвинуто немало так называемых космогонических гипотез. Были

предложены гипотезы о происхождении солнечной системы, о происхождении двойных звезд, о происхождении галактик, а в том числе и звезд, их составляющих, и т. д. Эти гипотезы стремились, исходя из некоторого начального (предположительного) состояния данного объекта или системы, объяснить как его возникновение, так и дальнейшее развитие. Так, например, делались попытки объяснить современное состояние планетной системы, исходя из предположения, что Солнце когда-то было окружено диффузной туманностью, занимавшей все то пространство, в котором сейчас движутся планеты.

Все эти гипотезы оказались несостоятельными. Дело в том, что космические явления, а тем более явления, сопровождающие возникновение и эволюцию звезд, качественно отличны от процессов, происходящих в значительно меньших масштабах. Само собой разумеется, что атомы и молекулы вещества, где бы они ни находились — в нашей Галактике, в туманности Андромеды или в физической лаборатории, — обладают тождественными свойствами. Однако в космических условиях мы имеем дело со столь большими количествами вещества и со столь длительными сроками развития, что в ходе процессов выявляются и подчас приобретают важнейшее значение такие глубокие свойства вещества, которые в обычных условиях не играют почти никакой роли.

Так, например, явления, связанные с ядерной энергией, в обычных земных условиях играют, как известно, совершенно незначительную роль. Они оставались неизвестными физикам до начала настоящего столетия, когда была открыта радиоактивность. С другой стороны, освобождение внутриядерной энергии должно играть важнейшую роль во внутризвездных условиях. Оно является существенной особенностью звезд. Ясно поэтому, что авторы космогонических гипотез прошлого века, не имея никакого представления о своеобразных условиях, характерных для звездных недр, не могли правильно решить вопросы звездной эволюции. Нет сомнения в том, что во многих случаях космические тела обладают и другими своеобразными свойствами, которые нами еще не вскрыты.

Чем больше мы проникаем в глубины мирового пространства, тем больше мы встречаем чрезвычайно своеобразных явлений, объяснение которых возможно лишь на основе изучения наиболее интимных, обычно непосредственно себя не проявляющих свойств элементарных частиц, которые только сейчас вскрываются современной физикой или будут вскрыты в более или менее близком будущем.

Всемерно развивая применение атомной и ядерной физики к космическим явлениям, астрофизики должны вместе с тем видеть важнейшую опору своих космогонических исследований в наблюдательных данных и в выявлении тех своеобразных закономерностей, которым, согласно этим наблюдательным данным, подчиняются космогонические процессы. Именно на этот путь вступила современная астрофизика. Работа в этом направлении показала, что эти закономерности очень сложны и действительно своеобразны.

После первых успехов проблема происхождения звезд впервые встает теперь перед нами во всей сложности. Можно сказать, что наши успехи в области звездной космогонии характеризуются не только числом и трудностью уже решенных вопросов, но еще большим числом и еще большей трудностью вновь поставленных, но еще не решенных вопросов.

Приведенные рассуждения могут показаться тривиальными, но они необходимы, так как и теперь еще продолжаются попытки решения космогонических задач на основе упрощенных представлений, без достаточно глубокого анализа всех наблюдательных данных.

Так, например, для объяснения происхождения звезд многие сейчас

исходят из диффузной материи. Они считают, что звезды образовались в результате сгущения разреженного туманного вещества и что Галактика, состоящая ныне из звезд, когда-то представляла собой одну гигантскую туманную массу. В подкрепление этого взгляда приводилось наличие большого количества эллиптических галактик, которые тогда еще не были разложены на звезды и, согласно схеме Джинса, считались первоначальным этапом развития галактик. Эта точка зрения получила смертельный удар в 1944 г., когда В. Бааде доказал, что эллиптические галактики состоят из звезд. Больше того, оказалось, что они содержат меньше диффузной материи, чем галактики любого другого типа. Мы не знаем ни одной галактики, состоящей только из диффузного вещества. Поэтому никаких оснований для гипотезы о возникновении звезд из разреженного туманного вещества нет. Несмотря на это и сейчас еще распространено ошибочное представление о том, что звезды возникают из туманности.

Мы остановимся теперь на ряде важных космогонических вопросов и расскажем о некоторых интересных данных, установленных советской наукой, о найденных интересных закономерностях, относящихся к процессу звездообразования.

Каков возраст звезд? До середины 30-х гг. применявшиеся методы не приводили к правильной оценке возраста звезд. Впервые правильная оценка среднего возраста звезд нашей Галактики была получена на основе статистики двойных звезд. Звезды, входящие в состав двойных (и кратных) систем, составляют, по крайней мере в окрестностях Солнца, большинство звездного населения. Чем же определяется отношение числа двойных звезд к числу одиночных звезд в единице объема? При решении этого вопроса было обращено внимание на то, что, с точки зрения теоретической механики, в нашей Галактике должны происходить процессы распада (диссоциации) пар на составляющие звезды и обратные процессы образования (рекомбинации) пар из прежде не зависимых друг от друга одиночных звезд. Процесс разрушения пары должен происходить тогда, когда при встрече пары с какой-нибудь посторонней звездой произойдет такого рода гравитационное взаимодействие, при котором часть энергии относительного движения пары и одиночной звезды будет потрачена на разрыв пары. Такие случаи будут редки, но в принципе они возможны. Возникновение пары из прежде независимых звезд может произойти, когда три одиночные звезды, случайно встретясь в пространстве, оказываются в тесном соседстве и при этом взаимодействуют таким образом, что одна из звезд получает значительную часть энергии относительного движения двух остальных и удаляется от них, а оставшиеся образуют пару. Такие процессы также должны быть редки, но за длительные промежутки времени они все же будут происходить в Галактике. Если звездная система могла бы существовать достаточно долго и при этом звезды сохраняли бы неизменными свои массы, то в конце концов должно было бы установиться равновесие между этими двумя противоположными процессами. Если бы какая-нибудь воображаемая звездная система достигла такого состояния, мы сказали бы, что она находится в состоянии диссоциативного равновесия, при котором отношение числа двойных звезд к числу одиночных звезд должно иметь вполне определенное численное значение. Это численное значение можно назвать «равновесным» значением.

Оказывается, что наблюдаемое отношение в десятки миллионов раз превосходит это равновесное значение. Отсюда следует, что в Галактике диссоциативное равновесие между одиночными и двойными звездами далеко еще не наступило. Иными словами, звезды в Галактике существуют более короткое время, чем необходимо для установления диссоциативного равновесия. Можно показать, что возраст звезд, оцениваемый этим путем,

меньше десяти миллиардов лет. Таким образом, был установлен верхний предел для возраста звезд. С другой стороны, геохимические данные говорят о том, что возраст Земли, а следовательно, и Солнца, являющегося типичной звездой, не меньше нескольких миллиардов лет. Поэтому можно считать, что указанная верхняя граница не очень далека от действительного возраста.

Следует отметить, что речь идет об оценке лишь среднего возраста. Возраст отдельных категорий звезд может значительно отличаться от этой цифры. В частности, не исключается существование молодых звезд, обладающих во много раз меньшим возрастом.

Захват или совместное происхождение? Как же на самом деле возникли существующие в настоящее время в Галактике двойные звезды? Произошли ли они путем захвата при тройных сближениях, или же они с самого начала возникли как двойные?

Допустим на минуту, что все звезды возникли сначала как одиночные. После этого начались рекомбинации. Однако после того, как путем захватов возникли первые двойные звезды, должен был начаться и процесс разрушения пар. Очевидно, что отношение числа двойных звезд к числу одиночных, хотя и должно было бы в таком случае возрастать, но никогда не превзошло бы введенного выше равновесного значения. Между тем наблюдаемое значение этого отношения в огромное число раз больше равновесного. Это означает, что наше предположение о том, что звезды возникли как одиночные, совершенно неверно. Отсюда был сделан следующий вывод: наблюдаемые двойные звезды в большинстве своем возникли как таковые. Иными словами, составляющие двойных звезд возникли совместно.

То же самое можно сказать о тройных и кратных звездах, а также о звездных скоплениях. Можно, таким образом, утверждать, что звезды, входящие в какое-либо звездное скопление, имеют общее, совместное происхождение, т. е. что они связаны между собой с момента своего возникновения. Уже в этих выводах, которые относятся к тридцатым годам, содержалась идея совместного возникновения звезд группами. Однако эта идея получила широкое применение лишь в связи с выявлением фактов, относящихся к распаду некоторых звездных групп.

Устойчивы ли звездные скопления? Изучение многих звездных скоплений, например таких, как Плеяды, показало, что они находятся в установившемся состоянии, т. е., несмотря на перемещения отдельных звезд внутри скопления, пространственное распределение звезд в нем не меняется, так как на место уходящих из данного элемента объема одних членов скопления приходят другие. Спрашивается, как долго может сохраняться такое установившееся состояние, какие причины могут его нарушить. Звездинодинамические исследования показали, что такой причиной должны являться случайные тесные сближения между звездами скопления. При этих сближениях они обмениваются энергией. При некоторых сближениях прирост кинетической энергии одной из звезд может оказаться настолько большим, что звезда преодолет притяжение всего скопления и уйдет из него. Такие процессы ухода звезд редки, но по истечении достаточно длительного промежутка времени скопление все же должно становиться беднее и прийти к окончательному распаду. Можно рассчитать время, необходимое для распада скоплений типа Плеяд, Гиад и других. Оно оказывается порядка нескольких миллиардов лет, но для некоторых скоплений оно короче и измеряется всего несколькими сотнями миллионов лет. Это означает, что различные скопления могли возникнуть на разных этапах жизни Галактики. Но самым интересным выводом из этих исследований, в то время еще недостаточно подчеркнутым, было то, что некоторые оди-

ночные звезды Галактики должны быть выходцами из скопления, т. е. что и они возникли в группах.

Продолжается ли теперь процесс звездообразования в Галактике? Ответ на этот вопрос тесно связан с изучением обнаруженных в Галактике весьма протяженных и разреженных групп звезд некоторых физических типов. Такие группы, названные звездными ассоциациями, наблюдаются также и в других галактиках. Подробному изучению были подвергнуты многие О-ассоциации, рассеянные группы горячих звезд высокой светимости (гигантов) и Т-ассоциации — группы, состоящие из относительно холодных переменных звезд низкой светимости (карликов). Пространственная концентрация звезд в звездных ассоциациях настолько мала, что эти звездные системы не могут удерживаться в стационарном состоянии силами взаимного притяжения своих членов. Они должны деформироваться и распадаться под влиянием возмущающего воздействия галактического центра. Если бы не было других причин, вызывающих разрушение ассоциации, то одного этого воздействия галактического центра было бы достаточно для того, чтобы ассоциация распалась в течение нескольких десятков миллионов лет. Уже это означает, что ассоциации представляют собой очень молодые, по сравнению с остальной Галактикой, звездные системы. Однако дальнейшие исследования показали, что звездные ассоциации распадаются главным образом не под действием галактического центра, а вследствие того, что с самого начала члены ассоциации получают столь большие скорости движения, что быстро уходят из сферы взаимного притяжения. Иными словами, большинство ассоциаций должно представлять собой расходящиеся группы звезд или, во всяком случае, группы, в которых большая часть звезд удаляется с большими скоростями от центра. Надо сказать, что эти важные выводы были сделаны сперва теоретически на основе качественного изучения строения ассоциации. В дальнейшем, однако, эти выводы были полностью подтверждены путем анализа измеренных движений звезд в ассоциациях. В настоящее время для ряда ассоциаций определена скорость их расширения. Это позволило более точно определить возраст звезд, составляющих ассоциации. Для ряда О-ассоциаций получились возрасты от одного до пяти миллионов лет. Эти возрасты в тысячи раз меньше, чем возраст Галактики. Это означает, что мы имеем здесь дело буквально с новорожденными звездами. Для возраста Т-ассоциаций еще не удалось найти столь точной оценки, но, по косвенным данным, их возраст должен быть порядка одного — двух миллионов лет.

Обнаружение звездных ассоциаций и установление их распада явилось доказательством того, что возникновение звезд в Галактике продолжается и теперь. После распада ассоциаций возникшие в них звезды входят в состав общего галактического поля в виде одиночных, а иногда и кратных звезд. Это приводит к мысли о том, что звезды поля, по крайней мере в своей заметной части, возникли в ассоциациях.

Все ли звезды Галактики возникли в ассоциациях? Как известно, часть звездного населения Галактики очень сильно сконцентрирована к плоскости ее симметрии. Это звездное население получило название населения первого типа. Другая часть звезд мало концентрируется вокруг плоскости симметрии, и она получила название населения второго типа. Реальная картина гораздо сложнее. Ей более соответствует описание Галактики как совокупности взаимопроникающих подсистем звезд, имеющих разное пространственное распределение. Населению первого типа соответствуют «плоские» подсистемы, а населению второго типа — «сферические» подсистемы. Однако имеются и промежуточные, т. е. не плоские, но достаточно сплюснутые подсистемы звезд. Звездные ассоциации сосредоточены в

плоскости Галактики, и возникающие в них звезды входят в состав плоских и в некоторых случаях в состав промежуточных подсистем. Но они не порождают звезд сферических подсистем. Мы наблюдаем в Галактике большое число ассоциаций, но так как жизнь звездных ассоциаций коротка, то за все время существования Галактики могли появиться и рассеяться сотни тысяч, а может быть и миллионы ассоциаций. Эти числа достаточно велики для того, чтобы сделать правдоподобным утверждение, что подавляющая часть населения плоских, а может быть и промежуточных подсистем возникла в звездных ассоциациях. Таким образом, мы приходим к выводу, что для населений этих подсистем групповое возникновение в ассоциациях является закономерностью. Что касается звезд сферических подсистем, то они наверняка возникли не в ассоциациях. Многие из них сосредоточены в шарообразных звездных скоплениях. Можно утверждать, что звезды, входящие в каждое шарообразное скопление, возникли совместно. Вполне возможно, что некоторые шарообразные скопления были неустойчивыми образованиями и рассеялись, войдя таким образом в состав общего звездного поля сферических подсистем. Поэтому вполне возможно, что и для этих звезд имеет место какой-то вариант закономерности группового звездообразования. Однако это нуждается в подтверждении.

Все ли звезды ассоциации возникают одновременно? Некоторые из *O*-ассоциаций в свою очередь состоят из нескольких групп звезд. Одни из этих групп похожи на обычные скопления. Другие представляют собой цепочки гигантских звезд, третьи образуют кратные звезды совершенно особого типа, получившие название кратных систем типа Трапедии Ориона. Они встречаются главным образом в ассоциациях, что является прямым указанием на их молодость. В эти системы большей частью входят самые горячие звезды. С точки зрения звездной динамики, кратные системы типа Трапедии Ориона являются неустойчивыми и должны распадаться за время порядка одного миллиона лет или меньше. Поэтому есть основание считать, что в ассоциациях имеются группы звезд более молодых, чем остальные члены ассоциации. Эти группы сосредоточены в небольших объемах и составляют, так сказать, тесные системы (скопления, цепочки, трапедии). Отсюда можно сделать два вывода. Во-первых, не все звезды ассоциации возникают одновременно и, во-вторых, образование отдельных групп происходит в сравнительно небольших объемах по сравнению с объемом всей ассоциации.

В дальнейшем аналогичные факты были обнаружены в отношении *T*-ассоциаций: были найдены так называемые объекты Хербига-Аро, которые по всем признакам являются наиболее молодыми образованиями в *T*-ассоциациях. Их возраст, по-видимому, намного меньше 1 млн. лет.

Из чего возникают звезды? Поскольку в Галактике наряду со звездами встречаются значительные массы диффузного газового вещества, составляющего туманности, вновь возникло предположение, что звездные группы образуются из туманности. Было отмечено, что почти во всех звездных ассоциациях наряду со звездами встречаются и туманности, имеющие значительную массу. Однако не было найдено никаких прямых доказательств того, что туманные массы превращаются в звезды. Напротив, имеются прямые факты, свидетельствующие о том, что многие звезды, входящие в ассоциации, выбрасывают вещество в окружающее пространство. Это истечение вещества из звезд приводит к увеличению массы туманностей. С другой стороны, было показано, что некоторые ассоциации содержат в себе более или менее симметричные туманности, обладающие большой массой и иногда имеющие кольцеобразную форму, которые расширяются со скоростями того же порядка, что и скорости расширения звездных групп в ассоциациях. С помощью наблюдений радиоизлучения

нейтрального водорода удалось обнаружить известное число таких расширяющихся туманностей в ассоциациях, в дополнение к тем, которые были обнаружены оптическими методами. В центральных частях некоторых из этих расширяющихся туманностей находятся группы молодых горячих звезд. Казалось бы, что эти факты говорят в пользу того, что мы имеем здесь дело с совместным возникновением звезд и туманностей, причем после возникновения как звездная группа, так и туманность начинают расширяться. Тем не менее, в литературе весьма часто встречаются предположения о том, что звездные группы возникают из туманностей. Более того, делаются попытки объяснить расширение звездной группы, исходя из того, что первоначально существовавшая туманность не могла находиться в равновесном состоянии и при известных условиях должна начать расширяться.

Примем на минуту справедливость такой точки зрения. Допустим, что группа звезд возникла из туманности. Но туманность сама, как показывают теоретические расчеты, не могла находиться в равновесном состоянии, ибо у туманностей нет равновесных конфигураций. В течение промежутка времени, измеряемого несколькими миллионами лет, туманность должна разрушиться. Возникает вопрос, что же было до туманности? Иными словами, даже если принять, что эта стадия предшествовала образованию звездной группы, все же она была крайне непродолжительной — короче жизни самой ассоциации. Следовательно, мы приходим к неизбежному выводу о других формах существования материи, предшествующих указанным формам существования материи в виде звезд и в виде туманностей. Таким образом, в настоящее время представляется более обоснованной точка зрения совместного образования звезд и туманностей из этой дозвездной формы существования материи. Для краткости мы будем говорить, что и звезды и туманности возникают из протозвезд.

Что должны представлять собой протозвезды, мы пока не можем сказать, поскольку мы их еще не наблюдали. Очевидно, они должны иметь столь большую массу, что из них может образоваться целая группа звезд и туманность. Можно думать, что протозвезды являются скорее весьма плотными, чем разреженными телами.

Естественно, что до настоящего времени мы еще не имеем успешного решения вопроса о природе и строении протозвезд. Однако обсуждение этого вопроса приводит к выводу, что если гипотеза о протозвездах верна, то вещество протозвезд должно обладать рядом необычных свойств и, в частности, способностью заключать в себе в потенциальном состоянии большие количества энергии. Исходя из этого, можно считать более вероятным, что вещество протозвезд является сверхплотным и, возможно, близким по плотности к атомным ядрам. Если это так, то образование звезд и туманностей из протозвезд связывается с вопросом об образовании химических элементов, из которых состоит обычное космическое вещество.

Можно предположить, что протозвезды обладают большой массой и малым радиусом. Звездные группы возникают в результате деления протозвезды на ряд частей. Образовавшиеся малые массы (порядка массы звезды) дозвездного вещества неустойчивы и быстро превращаются в обычное вещество, образуя звезды. Оставшаяся вне звезд масса бывшей протозвезды образует туманность. При этих превращениях часть энергии, сосредоточенная ранее в протозвезде, превращается в кинетическую энергию расширения туманности и звездной группы.

Изложенная только что точка зрения, может быть, не вполне соответствует истинному положению дел. Вполне вероятно, что в действительности все обстоит гораздо сложнее. Однако этой точкой зрения можно пользоваться пока как рабочей гипотезой. Мы будем называть ее гипотезой

о протозвездах и помнить о том, что она имеет еще весьма примитивную форму.

Можно ли наблюдать другие проявления дозвездного вещества, кроме процессов образования звезд и туманностей? Как указывалось выше, мы еще не наблюдаем протозвезды. Мы еще не сумели также построить какую-либо теоретическую модель протозвезды. Возможно, это связано с тем, что свойства дозвездного вещества являются качественно новыми для нас, и объяснение этих свойств на основе имеющихся до сих пор знаний о природе элементарных частиц вещества затруднительно. Нам нужно собрать по возможности больше эмпирических данных о внешних проявлениях дозвездного вещества, искать эти проявления и изучать их закономерности с тем, чтобы в дальнейшем перейти к выводам о природе этого вещества и о природе протозвезд.

Как было сказано, одним из этих проявлений является звездообразование и возникновение туманностей. Однако представляло интерес искать другие проявления дозвездного вещества. Вполне возможно, что после образования звезд не все дозвездное вещество, образовавшее звезду, сразу превращается в обычное вещество звезды. Можно допустить на минуту, что в недрах молодых звезд еще сохраняется некоторая, хотя и уменьшающаяся, доля дозвездного вещества. И если дозвездное вещество, как указывалось выше, является носителем большого количества энергии, то можно допустить, что в этих молодых звездах процессы превращения дозвездного вещества будут сопровождаться бурным выделением энергии. Оказывается, что подобные процессы как раз наблюдаются у членов упоминавшихся выше Т-ассоциаций. Этими членами являются так называемые переменные звезды типа Т Тельца, а также родственные им другие вспыхивающие звезды.

Изучение этих переменных звезд привело за последние годы к поразительным результатам. Оказалось, что в них наблюдаются совершенно своеобразные физические явления, о которых мы вкратце упомянем ниже. В рамках введенной выше рабочей гипотезы о протозвездах эти явления и процессы следует толковать как некоторые проявления дозвездного вещества, еще оставшегося в недрах молодых звезд.

О некоторых особенностях нестационарных звезд. Звезды типа Т Тельца показывают совершенно неправильные изменения блеска, достигающие значительной величины. В некоторых максимумах блеска светимость отдельных звезд бывает в 20 или 30 раз больше светимости в минимуме. Поэтому название «нестационарные звезды» вполне применимо к ним. То же самое справедливо и в отношении вспыхивающих переменных, открытых в ассоциациях. Различие заключается лишь в том, что вспыхивающие переменные обычно имеют минимальный блеск и лишь на короткое время, измеряемое минутами, вспыхивают, причем их светимость возрастает иногда в десятки раз.

В то время как излучение подавляющего большинства стационарных звезд истолковывается как тепловое (или «температурное»), значительная часть излучения нестационарных звезд, как выясняется, не является обычным тепловым излучением. Увеличение блеска часто не сопровождается повышением температуры фотосферических слоев звезды. Нетепловое излучение проявляется в форме так называемой «непрерывной эмиссии», которая возникает на внешней границе атмосферы звезды или даже вне ее атмосферы, но обладает часто мощностью потока энергии, сравнимой с тепловым излучением, идущим из фотосферических слоев. У вспыхивающих звезд нетепловое излучение выделяется главным образом во время вспышки, как бы в результате грандиозного взрыва. Попытки найти источники энергии этого излучения привели к заключению, что они

не могут постоянно находиться во внешних слоях звезды. Приходится допустить, что запасы связанной энергии доставляются время от времени, а в некоторых случаях непрерывно, непосредственно из внутренних слоев звезды на границу и даже за границу звездной атмосферы, и уже там происходит процесс освобождения энергии. Поскольку температура той области, в которой происходит выделение энергии, очень низка, мы, безусловно, не имеем здесь дела с термоядерными реакциями. Благодаря какому-то неизвестному процессу происходит образование большого числа частиц, излучающих непрерывный спектр. Имеются основания думать, что одним из механизмов излучения может быть излучение релятивистских электронов в звездных или околозвездных магнитных полях. Однако против этого механизма выдвигаются некоторые возражения, и сейчас нельзя считать вопрос решенным. Существенно, что выделение столь больших количеств энергии, или столь большого числа частиц с высокой энергией не получило до сих пор объяснения на основе известных ядерных процессов. Поэтому можно выдвинуть предположение, что выносимое из внутренних слоев звезды вещество представляет собой какую-то часть остатков дозвездной материи, о которой говорилось выше. В таком случае возможно, что мы имеем дело также с одновременно происходящим процессом образования элементов. Факт наблюдения в атмосферах звезд типа Т Тельца линии лития, который в условиях внешних слоев этих звезд должен был бы весьма скоро исчезнуть, непосредственно свидетельствует о том, что запасы литиевых атомов возобновляются. Это как будто подтверждает предположение об образовании элементов. Здесь уместно вспомнить также о других звездах, не входящих в О- и Т-ассоциации, но тем не менее также являющихся молодыми объектами,— о звездах типа S. Это тоже переменные звезды, и многие из них показывают неправильные изменения блеска. В их спектрах наблюдаются интенсивные линии технеция, который, как известно, не имеет стабильных изотопов и на Земле в естественном состоянии не встречается. И в этом случае мы должны предполагать постоянное возобновление запасов атомов технеция в атмосферах.

В пользу представления о том, что непрерывная эмиссия вызывается частицами высоких энергий, обладающими скоростями, близкими к скорости света, говорят те изменения, которые происходят в так называемых кометарных туманностях. Эти туманности связаны с нестационарными звездами, и раньше предполагалось, что они попросту отражают свет этих звезд. Однако гипотеза отражения оказалась не в состоянии объяснить свечение некоторых кометарных туманностей, а тем более изменения в их блеске. Эти изменения распространяются с очень большими скоростями. Естественно предположить, что свечение во многих случаях носит тот же характер, что и непрерывная эмиссия в спектрах звезд, связанных с туманностями, и вызывается быстрыми частицами, выбрасываемыми из нестационарной звезды. В таком случае изменения в количестве этих частиц будут распространяться с большой быстротой, что и соответствует наблюдениям.

Крабовидная туманность. Подобные изменения наблюдаются и в Крабовидной туманности, которая также дает непрерывную эмиссию, а кроме того интенсивное радиоизлучение. Расчеты показывают, что явление непрерывной эмиссии может быть в этом случае объяснено излучением релятивистских электронов в магнитных полях.

Наблюдения показали, что из центральной звезды Крабовидной туманности вырываются сгустки частиц, обладающих большими скоростями, которые затем дают непрерывную эмиссию. Здесь непосредственно наблюдается та картина, к которой мы пришли при изучении нестационарных

звезд на основании косвенных данных. Энергия указанных сгустков ничего общего не имеет с обычными источниками энергии в звездных атмосферах. По-видимому, и здесь энергия выделяется в результате превращений, испытываемых дозвездным веществом. Таким образом, слабая звезда, находящаяся в центре Крабовидной туманности, вовсе не является обычной звездой. Она служит источником совершенно необычных процессов и, согласно с приведенной выше рабочей гипотезой, может оказаться остатком протозвезды. Кстати, Крабовидная туманность образовалась в результате взрыва Сверхновой, происшедшего в 1054 г., т. е. почти на наших глазах. Эта туманность в настоящее время расширяется со скоростью 1500 км/сек.

Таким образом, выясняется, что процессы образования туманностей из протозвезд связаны, по крайней мере в некоторых случаях, со вспышками сверхновых.

Ядра галактик. Как известно, центральные области больших галактик, например таких, как туманность Андромеды, населены преимущественно звездами, принадлежащими к сферическим подсистемам, а спиральные ветви — звездами плоских подсистем. Иными словами, по составу своего населения центральные области спиральных галактик напоминают эллиптические галактики. Можно думать, что подобно эллиптическим галактикам в этих центральных областях количество диффузного вещества относительно невелико. Это означает, что вещество в них в основном сосредоточено в звездах.

Однако в самом центре большой туманности Андромеды, так сказать, в центре ее центральных областей, имеется еще небольшое по размерам ядро, которое резко выделяется на окружающем фоне. Его размеры — порядка 4—5 парсек — ничтожны по сравнению с размерами всей галактики в Андромеде.

Какова может быть природа этого ядра? Исключительное положение этого объекта не позволяет считать его обычным звездным скоплением. Но для того, чтобы играть существенную роль в жизни всей галактики, это ядро должно обладать очень большой массой, на несколько порядков большей, чем, скажем, массы шарообразных скоплений. Между тем по своей светимости указанное ядро лишь немного превосходит богатые шарообразные скопления. Эту светимость можно примирить с представлением о большой массе, если считать, что среднее излучение, приходящееся на единицу массы ядра, во много раз меньше, чем та же величина для шарообразных скоплений. На этом основании возникает подозрение, что ядра гигантских галактик могут содержать в себе объекты очень большой массы и малой светимости. Такими свойствами должны обладать протозвезды, состоящие из дозвездного вещества. Спрашивается, можем ли мы найти свидетельство в пользу столь необычной природы ядер гигантских галактик?

Нам кажется, что прямым доказательством этого является существование струи, выходящей из центра гигантской галактики NGC 4486 и содержащей три сгущения. Каждое из этих сгущений испускает излучение, которое по всем признакам является нетепловым. Спектр этого излучения является спектром непрерывной эмиссии. По-видимому, частицы, излучающие в этих сгущениях, имеют ту же природу, что и частицы Крабовидной туманности. Вероятно, это релятивистские электроны. Форма струи является указанием на то, что она выброшена из центрального ядра галактики. Однако если бы ядро галактики NGC 4486 состояло только из звезд и туманностей, то невозможно было бы себе представить выброс подобной струи, особенно если принять во внимание, что сгущения по массе приближаются к небольшим галактикам.

Гораздо естественнее предполагать, что центральное ядро содержит

большие массы дозвездного вещества, которые при своих превращениях производят огромные потоки частиц высокой энергии и могут привести к выбрасыванию на большие расстояния значительных масс,— явление, уже знакомое нам по звездным ассоциациям.

Недавно было обнаружено, что эллиптическая галактика NGC 3561 имеет струю, исходящую из ее центральной области и содержащую сгущение очень высокой светимости, сравнимой со светимостью таких, например, галактик, как спутники туманности Андромеды. Нет сомнения, что здесь мы имеем дело с выбросом из ядра галактики еще более грандиозным, чем выброс из ядра NGC 4486.

Сгущение, выброшенное из NGC 3561, имеет интенсивно голубой цвет. Одного этого достаточно, чтобы отвергнуть предположение об излучении, обусловленном тепловым лучеиспусканием звезд. По-видимому, и здесь играют роль какие-то частицы высокой энергии. Само собою разумеется, что если ядро этой галактики состоит из обычных звезд и туманностей, то такой грандиозный выброс невозможно понять. Поэтому и здесь мы приходим к гипотезе о больших массах дозвездного вещества в ядре галактики.

Кратные галактики. Применяя методы, развитые в отношении кратных звезд, можно утверждать, что и в случае кратных галактик гипотеза о независимом происхождении каждой составляющей оказывается неверной. Таким образом, мы приходим к представлению о делении какого-то первоначального тела на части, после чего в результате дальнейшего развития получаются отдельные галактики. Выброс зародыша какой-либо малой галактики из центрального ядра гигантской галактики может рассматриваться как частный случай такого деления. Это будет деление на две очень неравные части. Быть может, именно так следует истолковать приведенные выше случаи галактик со струями. В самое последнее время найден ряд новых свидетельств в пользу этого. Но могут быть и случаи деления ядра на две части приблизительно одинаковых размеров. По-видимому, именно с таким явлением мы имеем дело, наблюдая радиогалактику в Лебеде, имеющую два ядра и испускающую в тысячи раз более интенсивное радиоизлучение, чем другие радиогалактики.

*

На этом мы остановимся, так как уже вторглись в неизведанную область космогонии галактик. Работа здесь только начинается. Наши выводы здесь становятся менее надежными, так как мир внешних галактик изучен гораздо меньше, чем мир звезд. Однако новые могучие средства исследования обещают быстрый прогресс внегалактической астрономии. Уже сейчас наблюдения привели к удивительным открытиям. Поэтому можно с уверенностью смотреть вперед и даже надеяться, что успехи в вопросах космогонии галактик окажут существенную помощь в разрешении проблем звездной космогонии.

