

КОСМОНАВТИКА, АСТРОНОМИЯ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ



1988/9

В. А. Амбарцумян
ИЗБРАННЫЕ
СТАТЬИ



ЗНАНИЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

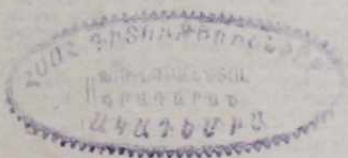
КОСМОНАВТИКА, АСТРОНОМИЯ

9/1988

Издается ежемесячно с 1971 г.

В. А. Амбарцумян,
академик

ИЗБРАННЫЕ СТАТЬИ



Издательство «Знание» Москва 1988

Амбарцумян В. А.

- А61 Избранные статьи. — М.: Знание, 1988. — 64 с., ил. — (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Космонавтика, астрономия»; № 9).

11 к.

В настоящий сборник включены некоторые работы дважды Героя Социалистического Труда, депутата Верховного Совета СССР, иностранного или почетного члена свыше двадцати пяти академий мира, почетного доктора многих университетов, академика Виктора Амазасповича Амбарцумяна, выполненные им в различные периоды его плодотворной научной жизни.

В брошюре рассказывается о развитии астрофизической концепции, известной под названием «бюраканской» и принадлежащей автору сборника.

Брошюра рассчитана на всех интересующихся проблемами астрономии и астрофизики.

1605040000

ББК 22.63

18 сентября 1988 г. исполнилось 80 лет со дня рождения академика В. А. Амбарцумяна — одного из самых выдающихся современных астрофизиков, дважды Героя Социалистического труда, лауреата Государственных премий СССР.

В. А. Амбарцумян родился в 1908 г. в Тбилиси, в семье известного филолога и педагога А. А. Амбарцумяна. После окончания Ленинградского университета он проходит аспирантуру в Пулковской обсерватории; его научным руководителем был крупнейший советский астрофизик А. А. Белопольский. С 1934 г. В. А. Амбарцумян — профессор, заведующий кафедрой астрофизики ЛГУ, затем директор Астрономической обсерватории университета, проректор по научной части. В 1939 г. он избирается членом-корреспондентом АН СССР, а в 1953 г. — академиком. В 1943 г. В. А. Амбарцумян переезжает на работу в Ереван, где его избирают академиком и вице-президентом АН Армении, а в 1947 г. — президентом. В 1946 г. он основал и возглавил Бюраканскую обсерваторию, известную многими выдающимися открытиями.

В. А. Амбарцумян — почетный или иностранный член многих зарубежных академий наук и научных обществ, в том числе Национальной академии наук США, Лондонского королевского общества, Французской академии, почетный доктор ряда зарубежных университетов. Он был вице-президентом и президентом Международного астрономического союза, президентом Международного совета научных союзов.

Научные исследования В. А. Амбарцумяна охватывают ряд крупных областей астрофизики, астрономии, физики; в их числе — физика газовых туманностей и звездных оболочек, теория рассеяния света, так называемые обратные задачи астрофизики, звездная и внегалактическая астрономия, изучение эволюционных процессов во Вселенной. Много внимания уделяет В. А. Амбарцумян философским и методологическим проблемам естествознания, в частности астрономии.

Некоторые из работ В. А. Амбарцумяна, отражающие основные вехи его научного творчества, собраны в предлагаемой вниманию читателя брошюре (иногда они перепечатываются с незначительными сокращениями).

В 30—40-е годы В. А. Амбарцумян опубликовал ряд крупных работ по теории переноса излучения, им разработана теория рассеяния излучения в мутных средах, имеющая большое значение не только для астрофизики, но и для решения чисто практических за-

доч. В. А. Амбарцумян предложил также метод, основанный на так называемом принципе инвариантности, с помощью которого уравнения переноса излучения сводятся к некоторым легко решаемым уравнениям.

Еще в 30-е годы им была выдвинута идея, что нестационарные объекты, которые раньше считались чем-то случайным, аномальным в плавном течении процессов космической эволюции, на самом деле представляют собой закономерные фазы этих процессов и содержат в себе своеобразный «ключ» к разгадке их механизмов. Эта идея, сначала почти не замеченная, а затем вызывавшая большое недоверие, оказалась необычайно плодотворной. Она продолжает стимулировать многие из основных направлений научного поиска в астрономии.

Работы В. А. Амбарцумяна, выполненные в 30-х годах, положили начало статистической динамике звездных систем — двойных и кратных звезд, звездных скоплений. Они впервые позволили получить правильные оценки среднего возраста звезд Галактики. На основе исследования нестационарных процессов — темпов установления равновесного распределения орбит двойных звезд — В. А. Амбарцумян показал, что вопреки общепринятой в то время «длинной шкале», согласно которой возраст звезд составляет порядка 10^{13} лет, он не может быть больше 10^{10} лет («короткая шкала»). Этот важнейший вывод содержался в статье «Космогония и современная астрофизика» и в ряде других работ. В. А. Амбарцумяном было также выяснено, что звезды, входящие в двойные и кратные группы, а также в звездные скопления, имеют общее происхождение.

Дальнейший анализ механизмов совместного возникновения компонентов звездных групп и скоплений привел В. А. Амбарцумяна к фундаментальному выводу: процесс звездообразования не закончился, как склонно было считать большинство астрономов. Напротив, он продолжается и в наше время, «почти на наших глазах». Этот вывод содержался в работе «Звездные ассоциации», а также других, выполненных в Бюраканской обсерватории в 40—50-е годы.

Собственно говоря, сами эти группировки звезд были известны астрономам. Определенное число их обнаружено уже в первые десятилетия нашего века; иногда даже употреблялся термин «ассоциации» или «звездные ассоциации». Некоторые из соответствующих фактов приводит и В. А. Амбарцумян.

Принципиально новый момент, внесенный им в изучение звездных ассоциаций, — интерпретация этих объектов как «очагов звездообразования» в нашей и других спиральных галактиках. В. А. Амбарцумян пришел к выводу, что звездные ассоциации — динамически неустойчивые системы, находящиеся в состоянии расширения и распада; их возраст не превышает в ряде случаев 10—20 млн. лет, а иногда еще меньше. По его мнению, звезды в ассоциациях возникают группами из «каких-то других, нам неизвестных объектов». Это — плотные или сверхплотные тела, фрагментация которых приводит к формированию комплексов молодых звезд и диффузного вещества. Распад остатков дозвездного вещества может вызывать бурные нестационарные явления во внешних слоях молодых звезд.

Выводы В. А. Амбарцумяна о продолжающихся в нашей и других галактиках процессах формирования звезд, о звездных ассоциа-

ниях как очагах звездообразования в спиральных ветвях галактик оказали огромное влияние на прогресс науки о Вселенной. Они были полностью подтверждены многочисленными исследованиями астрономов разных стран.

Сейчас иногда говорят, что в 40-е годы астрофизика уже буквально вплотную подошла к идее молодости, т. е. недавнего возникновения, звезд некоторых типов. Тем более примечательно, что общепринятой эта идея стала именно под влиянием исследований, выполненных в Бюраканской обсерватории.

Несколько иначе обстоит дело с представлением о динамической неустойчивости звездных ассоциаций и концепцией Амбарцумяна относительно физической природы протозвездного вещества: они продолжают вызывать бурные, бескомпромиссные дискуссии. Явления расширения и распада были действительно обнаружены во многих ассоциациях. Но их иногда рассматривают «скорее как исключение, чем как правило». Особенно сильное «отторжение» со стороны многих астрофизиков встречает гипотеза о существовании и распаде сверхплотных дозвездных тел.

Интерпретация звездных ассоциаций как динамически неустойчивых систем, возникающих вследствие фрагментации сверхплотного протозвездного вещества, подсказывала идею, что аналогичные процессы — только в значительно более грандиозных масштабах — могут происходить и в галактиках. В 1954—55 гг. В. А. Амбарцумян пришел к выводу, что в современной Метагалактике скопления и группы галактик могут либо сохраняться, либо распадаться. Но они не могут обогащаться за счет галактик, которые возникли независимо от них. Многие группы и скопления галактик нестационарны и находятся в состоянии распада: «дисперсия скоростей в некоторых больших скоплениях столь велика, что они могут представлять собой распадающиеся системы». Но если бы группы и скопления формировались путем конденсации диффузного вещества, они во всех случаях были бы стационарными системами. Следовательно, и здесь можно предположить действие альтернативного механизма — фрагментации, распада плотных или даже сверхплотных тел.

Этот момент концепции В. А. Амбарцумяна также вызвал возражения. Предполагается, что в группах и скоплениях галактик могут быть «скрытые массы» — вещество, пока не обнаруживаемое прямыми наблюдениями; оно-то и «стабилизирует» скопления, и тогда отпадают возражения против идеи их формирования из диффузного вещества. Но для этого необходимо, чтобы масса скрытого вещества в десятки, а иногда и в сотни раз (!) превышала массу «светящегося» вещества. В. А. Амбарцумян считает подобное допущение искусственным.

Дальнейшим развитием концепции В. А. Амбарцумяна явился вывод о существовании нового, ранее не известного астрофизике явления активности ядер галактик. Долгое время околюдерные области галактик не привлекали особого внимания. Считалось, что это — «рядовые детали» строения, в них находятся обычные звездные скопления. Правда, некоторые, буквально единичные исследования свидетельствовали, что ядра галактик содержат в себе весьма неожиданные «сюрпризы». Например, в 1943 г. американский астрофизик К. Сейферт обнаружил несколько галактик, ядра которых обладали резко повышенной яркостью и выбрасывали потоки газа со скоростями порядка 1000 км/с. Казалось бы, эти аномальные факты содержат явный намек на какие-то необычные явления

в центральных частях некоторых галактик. Но понят этот намек был только В. А. Амбарцумяном более чем десять лет спустя.

Непосредственным событием, которое привело к обнаружению активности ядер галактик, стало открытие в 1952 г. американскими астрономами В. Бааде и Р. Минковским радиогалактик. Сами авторы открытия предложили модель, согласно которой радиогалактики возникают в результате столкновения двух ранее независимых звездных систем. В. А. Амбарцумян, однако, в 1953—54 гг. сформулировал альтернативное объяснение, выдвинув сначала гипотезу о разделении галактик, затем — деления ядра галактики на две части, и наконец, гипотезу о том, что в ядре каждой радиогалактики произошел сверхмощный взрыв, сопровождающийся выбросом облаков частиц высокой энергии. В. А. Амбарцумяном было обнаружено существование и других форм активности ядер (выбросы плотных сгущений масштаба небольших галактик; выбросы газовых струй и релятивистской плазмы; наличие ультрафиолетового континуума в спектрах так называемых галактик Маркаряна и др.).

В обобщенной форме совокупность идей В. А. Амбарцумяна была сформулирована в его докладе «Об эволюции галактик» на XI Сольвейском конгрессе (Брюссель, 1958 г.). Основные выводы доклада, резко противоречащие общепринятым взглядам, были встречены довольно сдержанно. Интерпретация явлений нестационарности в ядрах галактик, предложенная В. А. Амбарцумяном, была настолько новой, что подобные сомнения неоднократно высказывались и в дальнейшем. Но в ходе острых дискуссий понятие активности ядер галактик получило многочисленные новые обоснования. В своей Ломоносовской лекции (1972 г.) В. А. Амбарцумян высказался об этом так: «...самым серьезным моим достижением и одним из лучших достижений коллектива Бюраканской обсерватории я считаю обнаружение активности ядер галактик... В отличие от ситуации, имевшей место 15 лет назад, когда вне Бюракана никто не верил в существование такой активности, сегодня о ней говорят почти на каждом углу».

Но если бы ядра галактик состояли только из звезд и диффузного вещества, обнаруженные в них явления активности типа взрывов и выбросов, которые сопровождаются огромным энерговыделением за сравнительно короткие промежутки времени, были бы, по мнению В. А. Амбарцумяна, невозможны. Он выдвинул гипотезу о том, что ядра галактик состоят из трех компонентов: звезд, газа и небольших по размерам сверхмассивных тел, составляющих как бы их сердцевину. Масса таких тел может быть равна сотням миллионов и даже миллиардам солнечных масс. Эти довольно плотные или даже сверхплотные тела представляют собой новую форму существования материи, возможно вовсе неизвестную современной физике. Активность ядер — результат деятельности этих тел. Они способны разделяться на части, удаляющиеся друг от друга с большими скоростями, а также выбрасывать массивные сгустки вещества. Для этого в них должны быть заключены в потенциальном состоянии громадные количества энергии. Взрыв ядра приводит к образованию новых галактик или, в других случаях, — различных звездных подсистем в галактиках. Часть энергии, освобожденной при взрыве ядра, переходит в кинетическую энергию образовавшихся объектов. В результате такого рода взрывов могут возникнуть не только пары галактик, но и целые группы, а также скопления галактик.

Многие астрофизики, приняв идею активности ядер галактик, не соглашались с выдвинутым В. А. Амбарцумяном объяснением физической природы этих процессов. Они считают более вероятным механизм коллапса, в частности, аккреции, т. е. падения вещества на сверхмассивную черную дыру, находящуюся в ядре галактики. Со своей стороны В. А. Амбарцумян отмечает, что все подобные попытки пока не привели к успеху. Хотя существование черных дыр во Вселенной вполне возможно, явления активности ядер галактик в силу многих причин едва ли могут быть объяснены их наличием.

В 60—70-е годы В. А. Амбарцумян (и возглавляемый им коллектив Бюраканской обсерватории) вернулся к изучению явлений нестационарности, наблюдаемых во внешних слоях так называемых вспыхивающих звезд. Считалось, что вспыхивающие звезды — относительно редкие объекты. Но В. А. Амбарцумяном было показано, что на самом деле все звезды-карлики, входящие в скопления, проходят длительную фазу высокой вспышечной активности, при которой в звезде происходят мощные, но дискретные и сравнительно кратковременные процессы. Теория звездной эволюции, считает В. А. Амбарцумян, пока не в состоянии дать сколько-нибудь обоснованное объяснение аномального энерговыделения молодых звезд: все разработанные до сих пор модели являются довольно искусственными, ни одна из них не дает ответа на вопрос, откуда берется энергия вспышки. По мнению В. А. Амбарцумяна, качественно наиболее правдоподобной остается выдвинутая им ранее гипотеза: в недрах молодых звезд могут оставаться отдельные, еще не распавшиеся сгустки сверхплотного дозвездного вещества. Их распад в атмосфере звезды или даже вне ее вызывает явление вспышки. Некоторые проблемы изучения звездных вспышек рассматриваются В. А. Амбарцумяном в работе «К статистике вспыхивающих объектов».

Итак, исходя из анализа явлений нестационарности во Вселенной, В. А. Амбарцумян считает, что процессы космической эволюции идут не в направлении от менее плотных состояний вещества к более плотным, как считает большинство астрофизиков, а в *прямо противоположном направлении — от плотных или даже сверхплотных состояний — к менее плотным*. Взгляды В. А. Амбарцумяна на эволюционную роль диффузного рассеянного вещества изложены им в докладе «О происхождении туманностей».

Стремительный прогресс науки о Вселенной за последние десятилетия приносит все новые подтверждения идеи о важнейшей эволюционной роли явлений нестационарности во Вселенной, впервые выдвинутой В. А. Амбарцумяном более полувека назад. Вселенная оказалась не только расширяющейся, но и буквально взрывающейся. Эта идея стала сейчас общим достоянием, она по праву вошла в научную картину мира и определяет многие важнейшие направления астрофизических исследований. Но проблема теоретического объяснения этих явлений — несмотря на многие десятилетия интенсивных усилий исследователей — остается в ряде случаев открытой. Причина состоит, вероятно, в том, что Вселенная неизмеримо сложнее, чем считалось еще недавно.

В. В. КАЗЮТИНСКИЙ, кандидат философских наук

КОСМОГОНИЯ И СОВРЕМЕННАЯ АСТРОФИЗИКА (1937 г.)

Девятнадцатое столетие и первое десятилетие двадцатого ознаменовались появлением целого ряда «космогонических гипотез» и вообще усиленным вниманием к вопросам космогонии. Весьма характерно, что рассматриваемый при этом круг вопросов касался главным образом происхождения и развития нашей Солнечной системы, не затрагивая сколько-нибудь серьезно развития звезд вообще и той звездной системы, в которую входит наше Солнце. Мы имели некоторое представление о состоянии Солнца в данный момент, но не было никаких эмпирических данных о состоянии Солнца в предыдущие эпохи. Между тем именно Солнце является главным телом Солнечной системы. Таким образом, все представления о состоянии Солнечной системы в предыдущие эпохи основывались только на знании современного ее состояния. Поэтому космогонические гипотезы сводились почти исключительно к умозрительным рассуждениям на основе известных законов механики.

Применение спектроскопических и других астрофизических методов исследования привело в двадцатом столетии к необычайно быстрому расширению наших сведений о звездах. Поэтому естественно, что были сделаны первые попытки построить теорию эволюции звезд вообще, а не только Солнца.

Здесь дело уже представлялось значительно менее безнадежным. Наблюдения указывали на то, что различные звезды находятся в различных состояниях, обладая самыми различными диаметрами, массами и яркостями. Естественно думать, что среди многочисленных наблюдаемых нами состояний звезд есть такие, которые переходят с течением времени одно в другое, т. е. что одни из наблюдаемых звезд с течением времени приобретают физические характеристики, наблюдаемые у других

звезд. Поэтому задачей теории звездной эволюции является выяснение того, какие же из наблюдаемых состояний звезд эволюционно связаны между собой. Такое связывание отдельных звеньев в эволюционную цепь должно, конечно, производиться на основании той или иной физической гипотезы.

Отдельные звезды

Внешними характеристиками отдельных звезд являются три величины: масса M , светимость L и радиус R . Кроме того, звезды могут отличаться друг от друга по химическому составу. Это, однако, не значит, что совокупность звезд есть совокупность, зависящая от трех или более произвольных параметров. На самом деле опыт показывает, что между этими параметрами существуют зависимости.

Для всех звезд, за исключением белых карликов, имеет место эддингтоновское соотношение между массой и светимостью. Для звезд данной массы дисперсия светимостей настолько мала, что это соотношение трудно назвать корреляцией. Речь идет о почти строгой функциональной зависимости. Все звезды главной последовательности и звезды-гиганты ей подчиняются. Таким образом, остаются только два свободных параметра для них: L и R . На самом деле между L и R также существует корреляция, изображаемая диаграммой Рессела. Согласно этой диаграмме звезды малой светимости (слабее абсолютной величины $+2^m$) имеют сравнительно малую дисперсию радиусов, в то время как дисперсия радиусов для более ярких звезд огромна.

Среди звезд очень низкой светимости (абсолютная величина слабее $+10^m$) также имеется огромная дисперсия (белые карлики и красные карлики).

Но если взять только звезды главной последовательности с абсолютными яркостями между $+2^m$ и 10^m , то можно сказать, что они образуют совокупность, зависящую только от одного параметра — массы. Для них при данной массе дисперсия радиусов и светимостей малы.

Поскольку все состояния этих звезд определяются одним параметром — массой, то последовательное и непрерывное прохождение звезды через эти состояния должно быть связано с изменением массы.

Звезды же более яркие, чем $+2^m$, и более слабые, чем $+10^m$, могли бы испытывать непрерывные эволюционные изменения без заметного изменения массы, переходя из одного класса в другой.

Однако нужно отметить, что мыслимы и скачкообразные изменения. Например, мыслимы переходы звезды типа F главной последовательности в состояние белого карлика без изменения массы. Но этот переход должен неизбежно сопровождаться изменением яркости на конечную величину, в короткий промежуток времени. Иначе мы наблюдали бы среди звезд такой массы объекты промежуточной светимости.

До сих пор принималось, что изменение массы звезды может происходить только в результате потери массы, происходящей, в свою очередь, вследствие излучения звезды. Однако эта потеря массы происходит настолько медленно, что для заметного изменения массы звезды требуется, чтобы излучение продолжалось в течение времени порядка 10^{13} лет. Тем самым гипотеза о значительном изменении массы при эволюции звезды приводит к определенной величине продолжительности процесса этой эволюции.

С другой стороны, имеется ряд весьма веских аргументов в пользу того, что возраст всей нашей звездной системы не превосходит 10^{10} лет. Эти аргументы будут приведены далее. Укажем здесь только на один факт. Известно, что в распределении звезд по галактической долготе встречаются нерегулярности и неоднородности. Эти неоднородности вызываются, вероятно, как неравномерностями в распределении звезд, так и неравномерностями в распределении темной материи. Между тем галактическая система находится в состоянии вращения вокруг общего центра тяжести. Поэтому в результате нескольких десятков оборотов должно было бы произойти полное смешение звезд (и космической пыли) и распределение должно было бы стать равномерным по долготе, за исключением случайных флуктуаций как для звезд, так и для темной материи. Этого нет. Следовательно, число оборотов, которое успела претерпеть Галактика со времени своего возникновения как звездной системы, не может быть порядка больше десяти. По всем данным период обращения в галактической системе заключен между $2 \cdot 10^8$ и $3 \cdot 10^8$ лет. Потому и возраст Галактики по порядку не должен превосходить $3 \cdot 10^9$ лет.

и во всяком случае 10^{10} лет. Как вероятную верхнюю границу можно указать $2 \cdot 10^9$ лет.

С другой стороны, данные геологии и минералогии приводят для возраста Земли тоже к цифре порядка $2 \cdot 10^9$ лет. Считая, что возраст Земли является нижней границей для возраста Галактики, мы приходим к заключению, что вообще возраст галактической системы измеряется сроком $2 \cdot 10^9$ лет.

Таким образом, возникают две противоположные концепции: одна — о «долгой шкале времени» эволюции порядка 10^{13} лет, другая — о «короткой шкале» порядка $2 \cdot 10^9$ лет.

Если справедлива долгая шкала эволюции, то звезды в течение своего развития успевают сильно изменить свою массу и перемещаются вдоль главной последовательности диаграммы Рессела от В к М.

Если справедлива короткая шкала, то изменение массы вследствие лучеиспускания незначительно. Эволюция тогда будет сводиться либо к перемещению на диаграмме Рессела по прямым постоянной светимости (поскольку соблюдается соотношение масса — светимость), либо к скачкам из области «обычных» звезд в область белых карликов (где нарушается соотношение масса — светимость) или обратно.

Таким образом, для теории звездной эволюции фундаментальным вопросом является выбор между долгой и короткой шкалой времени эволюции. Для того чтобы осветить вопрос о правильности той или иной шкалы времени, мы обратимся к рассмотрению звездных систем, входящих в состав нашей Галактики, и прежде всего к двойным звездам.

Двойные звезды

Двойные звезды представляют собой значительно более широкое поле для поисков эволюционных связей, чем одиночные звезды. Это следует уже из того, что вместо трех параметров L , M и R , доступных наблюдению и притом еще связанных между собой, имеется значительно большее число их. Этими главнейшими параметрами являются L , M , R для главной звезды и для спутника, большая полуось орбиты a и полный вращательный момент H системы. Другие параметры, характеризующие ориентацию орбиты в пространстве, для космо-

нии, вероятно, менее существенны. Однако удобнее вместо полного вращательного момента H рассматривать эксцентриситет, вместе с массами и большой полуосью определяющий величину той части полного вращательного момента, которая связана с орбитальным движением и которая обычно близка к полному моменту.

Джинс указал на то, что среди звезд с определенными орбитами число пар с эксцентриситетами между e и $e+de$ пропорционально $e de$. С другой стороны, можно легко вычислить, что и при статистическом равновесии, т. е. при наиболее вероятном распределении, число пар с эксцентриситетами между e и $e+de$ должно быть тоже пропорционально $e de$.

Поэтому Джинс заключил, что это наиболее вероятное распределение элементов орбит имеет место в нашей звездной системе. Между тем установление наиболее вероятного распределения элементов орбит требует некоторого времени. Это время — называемое временем релаксации — может быть вычислено на основании того, что причиной изменений элементов орбиты пары является прохождение поблизости от пары посторонней звезды. Эти изменения и приводят к установлению наиболее вероятного распределения.

Очевидно, что время релаксации зависит от взятой совокупности пар в том смысле, что оно различно для совокупности тесных пар и для совокупности далеких пар. Для тесных пар с большими полуосями орбит — порядка нескольких астрономических единиц (или нескольких десятков) — время релаксации будет порядка 10^{13} лет. Поэтому, принимая во внимание, что пары с известными орбитами являются такими тесными, Джинс утверждал, что распределение эксцентриситетов орбит двойных звезд является доказательством правильности долгой шкалы времени эволюции.

На самом же деле, как показал автор, это утверждение оказалось ошибочным. Дело в том, что пропорциональность числа орбит с эксцентриситетом между e и $e+de$ величине $e de$ должна осуществляться не только при наиболее вероятном распределении двойных звезд в фазовом пространстве, но будет иметь место и при весьма широком классе других мыслимых распределений.

Из элементарных соображений очевидно, что распределение координат и скоростей спутников, отнесенных к координатной системе, связанной с главной звездой, оп-

ределяет собой однозначно распределение элементов орбит спутников вокруг главных звезд. Поэтому вместо того чтобы изучать закон распределения элементов, мы можем изучить закон распределения в фазовом пространстве, и наоборот. Закон распределения в фазовом пространстве при статистическом равновесии (закон Больцмана) утверждает, что плотность в фазовом пространстве пропорциональна $e^{-E/\theta}$, где E — энергия орбитального движения в паре, а θ — так называемый «модуль» распределения.

Оказывается, что число эксцентриситетов, заключенных между e и $e+de$, будет пропорционально $e de$ не только в том случае, когда плотность пропорциональна $e^{-E/\theta}$, но во всех случаях, когда фазовая плотность есть любая произвольная функция энергии E . Поэтому из наблюдаемого распределения эксцентриситетов нельзя делать выводов о том, что уже установилось наиболее вероятное распределение.

Автору удалось показать, что мы можем сделать вывод о законе распределения больших полуосей, исходя из наблюдаемого распределения величины проекции расстояний между компонентами на небесную сферу.

Обработка весьма богатых и полных данных, собранных в недавно появившемся каталоге визуально двойных звезд Эйткена, привела к заключению, что полное число всех орбит с большими полуосями, заключенными между a и $a+da$, пропорционально da/a . Предположив, что фазовая плотность f зависит только от большой полуоси (т. е. от энергии), нетрудно показать, что полное число пар с большими полуосями между a и $a+da$ должно быть пропорционально $f\sqrt{a}da$.

Отсюда следует, что из наблюдений мы имеем:

$$f = \frac{C}{a^{3/2}},$$

где C — постоянная. Таким образом, фазовая плотность, полученная из наблюдений, не представляется больцмановской формулой.

Вычисление показывает, что время релаксации для широких пар (от 1000 до 10 000 астрономических единиц) порядка 10^{10} лет. Если для них еще не установилось наиболее вероятное распределение, то это указывает на то, что возраст нашей звездной системы не превышает 10^{10} лет.

Но не только в этом заключается отклонение от наиболее вероятного распределения. При процессах сближений звезд между собой должно происходить разрушение и образование пар. Так, в результате сближения двойной звезды с одиночной двойная звезда может распасться, и после сближения мы будем иметь три удаляющиеся друг от друга звезды. Возможны и обратные процессы, когда три звезды сближаются между собой, и в результате получается одна двойная звезда и одна одиночная, которая получает увеличение кинетической энергии за счет энергии, освободившейся в результате образования двойной звезды. С течением времени должно установиться некоторое диссоциативное равновесие, при котором число двойных звезд с большими полуосями, заключенными в некоторых пределах (между a_1 и a_2), целиком определяется концентрацией одиночных звезд (их числа в кубопарсеке) и модулем распределения θ . И та и другая величины нам известны. Поэтому из формулы диссоциативного равновесия мы можем найти относительное число двойных звезд среди одиночных. Оказывается, что вычисленный таким образом процент широких двойных звезд в десяток миллионов раз меньше наблюдаемого. Отсюда следует, что диссоциативное равновесие среди широких пар еще не наступило. Между тем для пар с расстоянием от 1000 до 10 000 астрономических единиц это диссоциативное равновесие должно было бы наступить тоже в течение промежутка времени порядка 10^{10} лет. Таким образом, и в этом случае отклонение от статистического равновесия указывает на правильность короткой шкалы эволюции звездной системы.

Открытые звездные скопления

Открытые скопления тоже могут быть охарактеризованы посредством целого ряда параметров. Важнейшими из них являются: 1) полное число звезд в скоплении и 2) полная энергия E скопления, рассматриваемого как замкнутая механическая система.

Рассмотрим, как должно вести себя скопление, представленное самому себе. Очевидно, что при движении звезд внутри скопления будут происходить их сближения между собой и, следовательно, обмен кинетическими энергиями. В результате первоначальное распреде-

ление энергий будет меняться, и по истечении времени релаксации распределение скоростей в каждом элементе объема приблизится к распределению Максвелла — Больцмана.

Но при максвелловском распределении скоростей всегда будет существовать некоторая часть звезд, таких, что их кинетическая энергия превосходит энергию отрыва от скопления. Иными словами, при максвелловском распределении скоростей некоторая часть звезд будет обладать скоростями, превосходящими критическую.

Таким образом, превращение первоначального распределения скоростей в максвелловское приводит к появлению определенного процента звезд с такими большими скоростями. Эти звезды покидают скопление. Но вместо них должны появиться в результате сближений другие звезды со скоростями, превосходящими критическую, и т. д. Таким образом, скопление должно медленно терять звезды. Должна происходить диссипация звездного скопления. При этом в первую очередь из скопления должны выбрасываться звезды с малой массой, т. е. карлики.

Время, в течение которого произойдет разрушение скопления до половины его первоначального численного состава, зависит только от плотности скопления в случае, когда оно состоит из звезд равной массы. Вычисления показывают, что при наблюдаемых плотностях время, в течение которого скопление разрушится наполовину, не превосходит 10^{10} лет. Для «изгнания» же карликов из скопления требуются в несколько раз более короткие сроки.

Таким образом, рассматривая эволюцию некоторого скопления, мы видим, что число звезд, особенно слабых, должно постепенно убывать. Но, кроме того, каждая звезда, уходящая из скопления, уносит с собой положительную кинетическую энергию. Поэтому полная энергия скопления должна убывать и во всяком случае не возрастать.

Рассмотрим теперь совокупность открытых скоплений, наблюдаемых нами в данный момент. Если бы эти скопления являлись разными фазами эволюции одного и того же объекта, то скопления с меньшим числом звезд должны были бы обладать меньшими энергиями. На самом деле полные энергии скоплений отрицательны, и поэтому можно сказать, что у скоплений, состоящих

из меньшего числа звезд, должны были бы наблюдаться большие по абсолютной величине энергии. В работе одного из сотрудников Астрономической обсерватории ЛГУ показано, что на практике имеет место обратное соотношение, т. е. более бедные скопления обладают меньшими по абсолютной величине потенциальными энергиями. Следовательно, начальные условия для различных открытых скоплений были различными, и они не являются просто разными фазами эволюции одинаковых между собой объектов. Иными словами, факты говорят за то, что открытые скопления не продвинулись далеко на пути разрушения. Только действительная бедность их карликами говорит за то, что, быть может, этот процесс начался. Поскольку время распада скопления не превосходит 10^{10} лет, то мы приходим опять к короткой шкале для возраста Галактики.

Внутреннее строение звезд и их развитие

Вспышки Новых представляют собой весьма сложные явления, протекающие в весьма короткие промежутки времени. В несколько десятков часов звезда увеличивает свою яркость по сравнению с первоначальной от десяти до ста тысяч раз, а потом медленно падает в яркости, достигая через несколько лет приблизительно первоначального блеска. Вспышка Новой сопровождается, таким образом, выделением большого количества лучистой энергии. Но весьма важно, что, кроме того, при вспышке звезда выбрасывает в пространство свои внешние слои. Количество выделяемой при вспышке энергии точно оценить трудно, ибо часть этой энергии идет на работу выбрасывания оболочки. Однако приблизительно она порядка 10^{45} — 10^{46} эргов. Что касается массы выброшенной оболочки, то, согласно подробным исследованиям, приведенным Горделадзе в его диссертации, она порядка от 10^{-5} до 10^{-4} солнечной массы. Таким образом, изменение массы, происходящее при вспышке, незначительно. Точно так же выделенная энергия составляет небольшую долю лучистой энергии, заключенной в звезде в каждый данный момент времени.

Однако статистические данные указывают на очень большую частоту вспышек Новых как в нашей звездной системе, так и во внешних галактиках. За время жизни звездной системы на каждую звезду в среднем прихо-

дится не одна, а, вероятно, несколько десятков вспышек. Между тем с большой вероятностью можно утверждать, что Солнце за время существования земной коры не испытало подобной вспышки. Значит, имеются звезды, которые не испытывают вспышек по крайней мере столь часто. Для того чтобы объяснить наблюдаемую частоту вспышек, придется предположить, что имеется другая категория звезд, которая вспыхивает чаще, чем десятки раз в своей жизни.

Мы приходим, таким образом, к заключению, что существует целый класс (и притом довольно многочисленный) звезд, обладающих способностью давать весьма частые вспышки. В результате большого числа вспышек может произойти значительная убыль массы, и звезда перейдет в другое состояние. Стоит отметить, что мы знаем в настоящее время уже две звезды (новоподобные переменные Т Компаса и RS Змееносца), которые испытывают вспышки через промежутки времени порядка нескольких десятков лет, но они в максимуме яркости слабее других Новых.

Сверхновые

Значительно более редкими явлениями, чем Новые звезды, являются вспышки Сверхновых. Во время вспышки Сверхновой яркость вспыхивающей звезды увеличивается настолько, что она становится в сто миллионов раз ярче Солнца. Спектроскопические наблюдения, проведенные в 1936 г., установили, что и в этом случае мы имеем дело с выбрасыванием оболочки. Детальные исследования о массе выброшенной таким образом оболочки еще отсутствуют, но нет никаких сомнений, что она составляет уже заметную долю массы звезды. Выделенная энергия также очень велика и сравнима с количеством лучистой энергии, заключенной в звезде согласно современным теориям внутреннего строения звезд. Выброшенная оболочка с огромной скоростью рассеивается в пространстве.

Несомненно, что при вспышке Сверхновой происходит какое-то фундаментальное изменение в строении звезды.

Небольшая частота вспышек Сверхновых тоже указывает, что мы, по-видимому, имеем дело со столь фундаментальным изменением, которое может происходить лишь один раз в жизни звезды.

Планетарные туманности

Благодаря работам Занстра и других авторов за последние годы удалось выяснить всю картину сил, действующих в планетарных туманностях. Оказалось, что доминирующей силой в планетарных туманностях является световое давление.

С другой стороны, можно теоретически показать, что под действием светового давления и других сил, действующих в туманности, она не может находиться в равновесии и должна либо расширяться, либо сжиматься. Со своей стороны наблюдения тоже указывают в ряде случаев на расширение планетарных туманностей. Отсюда был сделан вывод, что планетарные туманности являются результатом выбрасывания материи из центральной звезды, наподобие газовых оболочек вокруг Новых звезд.

Вряд ли можно сомневаться в правильности подобной интерпретации, и спор может идти лишь о том, как происходило выбрасывание материи. По имеющимся оценкам масса планетарной туманности порядка 0,1 массы Солнца. Но это скорее нижний предел. Возраст планетарных туманностей вряд ли превосходит 10^5 лет — вероятно, меньше. Поэтому нужно думать, что образование планетарных туманностей происходит в Галактике сравнительно часто, может быть, столь же часто, что и вспышки Сверхновых.

При образовании планетарной туманности от звезды отделяется значительная часть ее массы, и нет никаких сомнений, что при этом происходит фундаментальное изменение в строении звезды. Мы знаем, что центральные звезды планетарных туманностей являются белыми или, точнее, голубыми карликами. К сожалению, мы не знаем, какова была природа этих звезд до отделения от них планетарных туманностей. Но несомненно, что мы в данном случае имеем дело с переходом звезды в результате катастрофы из какого-то состояния в состояние белого карлика.

Звезды типа Вольфа-Райе

Звезды типа Вольфа-Райе вместе со звездами типа Р Лебеда представляют огромный интерес именно потому, что из них происходит мощное и непрерывное выб-

расывание материи. Выброшенные газы образуют вокруг звезды оболочку, в которой и зарождаются яркие линии, наблюдаемые нами в ее спектре.

Теория протяженных фотосфер позволяет нам произвести оценку массы, истекающей из таких звезд в течение года. Получается масса порядка 10^{-5} массы Солнца. Следовательно, в течение нескольких десятков тысяч лет такого стационарного истечения уже может произойти заметное изменение массы звезды. Интересно отметить, что Новые звезды после вспышки превращаются либо в звезды Вольфа-Райе, либо же в звезды Р Лебедя.

Изучение упомянутых четырех категорий объектов указывает на тот путь, по которому происходит развитие многих звезд. Это взрывы, сопровождающиеся выбрасыванием больших масс материи, и непрерывное истечение материи. Следуют ли все звезды этому пути, и если нет, то каков другой возможный путь развития? Мы пока имеем слишком мало данных для ответа на эти вопросы.

ЗВЕЗДНЫЕ АССОЦИАЦИИ

(1949 г.)

До последнего времени предметом изучения со стороны астрономов являлись два типа «малых» звездных систем, входящих в качестве коллективных членов в состав Галактики. Это открытые и шарообразные скопления. К открытым скоплениям примыкают также двойные и кратные звезды.

Однако недавно автором было установлено, что наряду с открытыми и шарообразными скоплениями в Галактике имеется еще один тип звездных систем — звездные ассоциации, представляющий выдающийся интерес с точки зрения проблем развития звезд.

В качестве примеров звездных ассоциаций могут быть приведены:

1) группа переменных звезд типа Т Тельца и связанных с ними других звезд в Тельце и Возничем. Известно, что звезды типа Т Тельца встречаются лишь в некоторых определенных областях неба. В частности, восемь из них образуют изолированную группу в созвездиях Тельца и Возничего, занимая на небе область размером

$12^{\circ} \times 12^{\circ}$. При расстоянии до этой группы порядка 100 парсек это означает, что линейный поперечник группы порядка двадцати пяти парсек. Впоследствии Джой обнаружил на том же участке неба целый ряд звезд-карликов с яркими линиями в их спектрах, что указывает на вероятное родство их со звездами типа Т Тельца.

Здесь следует отметить два важных факта: а) что никакими случайностями такую взаимную близость звезд рассматриваемой группы объяснить нельзя — здесь мы явно имеем дело с одной системой; б) вместе с тем плотность рассматриваемой системы звезд настолько мала, что она никогда не могла бы быть обнаружена в качестве скопления путем прямого наблюдения, даже если бы она была в несколько раз ближе к нам. Только принадлежность членов этой ассоциации к одному классу переменных звезд позволила обнаружить ее.

Чрезвычайно важной характеристикой рассматриваемой системы является низкая пространственная плотность. Если даже мы присоединим к 7—8 звездам типа Т Тельца упомянутые сорок карликов с яркими линиями, предполагая, что и они входят в систему, все же получится, что пространственная плотность в последней гораздо ниже, чем плотность галактического звездного поля, в которое погружена рассматриваемая ассоциация. Можно даже допустить, что помимо карликов с яркими линиями в количестве, в несколько раз большем, входят в эту систему и другие карлики (без ярких линий). Однако и в этом случае получаемая верхняя граница плотности гораздо ниже плотности общего галактического поля.

Заслуживает внимания также связь, существующая между звездами этой системы и диффузной материей как светлой, так и темной;

2) общий каталог переменных звезд Кукаркина и Паренаго (1948) содержит в небольшой области неба размером $6^{\circ} \times 7^{\circ}$ (недалеко от галактического экватора) восемь звезд типа Т Тельца. Даже если откинуть три звезды, тип которых должен быть еще подтвержден, все же концентрация в этой области пяти звезд типа Т Тельца не может быть случайной, и мы имеем дело с членами некоторой звездной системы. Переменные в максимуме блеска в этой системе в среднем на 3—4^m слабее переменных, входящих в состав ассоциации в Тельце. Это,

по-видимому, является свидетельством дальности ассоциации в Орле-Змееносце;

3) группа звезд типов О и В, а также красных звезд-сверхгигантов вокруг двойного открытого скопления χ и h Персея. Эта система была исследована Бидельманом. Наблюдения доказывают с несомненностью существование группы сверхгигантов ранних и поздних типов, которая окружает скопления χ и h Персея. Двойное скопление является ядром этой ассоциации.

Вся система имеет диаметр порядка 170 парсек, в то время как каждое из скоплений χ и h Персея порядка 10 парсек (по Остергофу, 7 парсек). Характерной особенностью системы является наличие в ней целого ряда звезд типа В с яркими линиями. В частности, в системе имеется по крайней мере пять звезд типа Р Лебеда.

Если даже допустить, что вся ассоциация в целом содержит десятки тысяч звезд, все же средняя плотность ее окажется ниже плотности галактического звездного поля. Поэтому несомненно, что эта ассоциация также состоит из расходящихся в пространстве звезд. Вместе с тем нужно отметить, что два ядра χ и h Персея, являющихся обычными открытыми скоплениями, должны быть устойчивыми образованиями и их разрушение может идти лишь тремя путями, которые характерны для открытых скоплений;

4) открытое скопление NGC 6231 окружено группой сверхгигантов типов О и В. Изучение радиальных скоростей, произведенное Струве, показывает, что все эти сверхгиганты вместе со скоплением образуют одну звездную ассоциацию. Расстояние ее от нас около тысячи парсек. Диаметр ассоциации почти в 5 раз превосходит диаметр скопления и достигает примерно 30 парсек. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что в состав ассоциации входят две звезды Вольфа-Райе и две звезды типа Р Лебеда.

Само собой разумеется, что о случайной концентрации этих звезд вокруг скопления не может быть и речи. В данном случае опять приходится принять, что средняя плотность ассоциации мала по сравнению с плотностью галактического поля. Ассоциация неустойчива;

5) особый интерес представляет система NGC 1910 в Большом Магеллановом Облаке. Она состоит из большой группы сверхгигантов ранних типов, куда входят и звезды типа Р Лебеда и в том числе знаменитая S Зо-

лотой Рыбы. Диаметр этой системы порядка 70 парсек, что во много раз превосходит размеры обычных галактических скоплений;

6) звездная ассоциация в площадке Каптейна SA 8 (центр $\alpha = 1^h$, $\delta = +60^\circ 10'$). Ассоциация является группой слабых звезд типов O и B, занимающей на небе область поперечником в 2,5 градуса. В ассоциацию входят одна звезда Вольфа-Райе и две звезды типа B с яркими линиями. По-видимому, не менее 23 членов этой ассоциации принадлежат к типу B0. Необходимо отметить, что ассоциация расположена в такой области, которая бедна яркими звездами типа B ярче 8^m . Судя по видимым звездным величинам звезд ранних типов, эта ассоциация расположена от нас на расстоянии не менее 2000 парсек. Это дает значение диаметра порядка 100 парсек. Существование этой чрезвычайно интересной и отдаленной ассоциации было установлено Маркаряном в Бюраканской обсерватории в 1948 г. на основании данных Бергедорфского каталога. Ядром ассоциации, согласно Маркаryanу, является открытое скопление NGC 381.

Основные характеристики звездных ассоциаций. Из приведенных данных можно сделать следующие общие выводы о звездных ассоциациях:

1) ассоциации являются системами, средняя плотность которых мала по сравнению с плотностью галактического звездного поля. Однако если взять парциальные концентрации звезд отдельных спектральных типов, то ассоциации резко выделяются благодаря обилию в них звезд, принадлежащих к сравнительно редким типам. При этом в одних случаях речь идет о сверхгигантах типов O и B, в других — о звездах типа T Тельца. Вследствие своей малой плотности ассоциации не могут находиться в состояниях, которые известны в звездной динамике под названием стационарных. В отличие от шарообразных и открытых скоплений ассоциации являются нестационарными системами. Очевидно, члены ассоциации расходятся в пространстве с течением времени, смешиваясь со звездами поля;

2) в ассоциации всегда входят звезды, из которых происходит непрерывное истечение материи. В трех из приведенных шести примеров мы встречаемся со звездами типа P Лебедя. В четвертом и шестом примерах мы видим в числе членов ассоциаций звезды типа Воль-

фа-Райе. В первых двух примерах мы видим переменные типа Т Тельца, из которых также происходит непрерывное истечение вещества;

3) в некоторых случаях ассоциации имеют ядра в виде открытых звездных скоплений.

Звездные ассоциации в Большом Магеллановом Облаке. Известно, что Большое Магелланово Облако весьма богато открытыми скоплениями. Вместе с тем обращает на себя внимание тот факт, что скопления Большого Облака имеют в некоторых случаях весьма значительные линейные размеры (в несколько десятков парсек). Приведенный выше пример NGC 1910 является наиболее разительным. Кривая распределения открытых скоплений по величине их диаметра для Большого Облака имеет, однако, минимум, который разделяет все открытые скопления на две группы: а) скопления с диаметрами, превосходящими 20 парсек, и б) скопления с диаметрами, меньшими 20 парсек. Уже это обстоятельство заставляет подозревать, что мы имеем тут дело с объектами двух различных типов и масштабов. Присутствие по крайней мере в некоторых скоплениях первой группы звезд типа Р Лебеда заставляет думать, что системы с диаметрами, превосходящими 20 парсек, являются объектами типа звездных ассоциаций, встречающихся в Галактике, в то время как объекты другой группы являются обычными открытыми скоплениями.

Следующее соображение делает это предположение почти достоверным фактом. Если рассматривать нашу Галактику из какой-нибудь внешней системы, скажем, из Большого Магелланова Облака, то ассоциация вокруг χ и h Персея непосредственно выделится на окружающем фоне благодаря наличию в ней большого числа звезд-сверхгигантов. Наблюдая же эту систему изнутри Галактики, мы сталкиваемся с тем фактом, что на нее проектируются звезды малой светимости, которые находятся на гораздо меньшем расстоянии, чем ассоциация, и в силу этого имеют такие же видимые звездные величины, что и сверхгиганты, входящие в ассоциацию. Звезды ассоциации поэтому теряются на общем фоне. Наблюдатель, находящийся в Большом Магеллановом Облаке, без исследования спектров, путем прямого наблюдения, обнаружил бы рассматриваемую ассоциацию как скопление сверхгигантов, имеющее диаметр 170 пар-

сек. Скопления же χ и h Персея представляются ему лишь уплотнениями в этой грандиозной системе.

С другой стороны, система NGC 1910, будучи перенесена из Большого Облака в Галактику, на место χ и h Персея, будет наблюдаться нами именно как ассоциация, т. е. она не будет выделяться в виде заметного сгущения звезд, если только не прибегнуть к отдельному изучению распределения звезд ранних спектральных типов в этой области неба.

Таким образом, по-видимому, все гигантские системы в Большом Магелановом Облаке (число их около 15) являются на самом деле звездными ассоциациями, характерные черты которых были описаны в предыдущем параграфе.

Кинематика звездных ассоциаций. Так как силы взаимодействия звезд в ассоциации малы по сравнению с приливным воздействием общего силового поля в Галактике, то по крайней мере в отношении периферийных членов ассоциаций можно пренебречь силами взаимодействия.

Рассматривая движение звезд ассоциации в поле сил Галактики, нужно отметить, что дифференциальный эффект галактического вращения должен привести к взаимному удалению членов ассоциации. Причем для времени удвоения радиуса ассоциации получается величина порядка нескольких десятков миллионов лет.

Этот вывод независимо от наличия возможных дополнительных причин расширения приводит к заключению, что каждая ассоциация возникла сравнительно недавно и состоит из звезд, расходящихся из какого-то первоначального объема, в котором возникли члены ассоциации.

Однако если бы расширение ассоциации вызывалось только дифференциальным эффектом галактического вращения, то размеры ее увеличивались бы только в плоскости Галактики. В результате ассоциации быстро принимали бы сильно сплюснутую форму.

Что касается возможного расширения ассоциации в направлении, перпендикулярном галактической плоскости, под влиянием разницы периодов колебательного движения по z -координате, то следует сказать, что этот эффект будет действовать гораздо медленнее. Причина такой медленности заключается в том, что периоды колебаний при малых амплитудах не зависят от величины

амплитуды, т. е. от начальных условий, пока эти амплитуды малы.

Поскольку наблюдаемые ассоциации находятся на низких галактических широтах, звезды, в них содержащиеся, должны также иметь примерно равные периоды колебаний по z -координате. Поэтому рассматриваемый эффект должен быть весьма мал по сравнению с эффектом дифференциального вращения.

Между тем наблюдения не показывают особенно сильной сплюснутости у тех систем, которые рассмотрены выше в качестве примеров. Это обстоятельство заставляет думать, что существует другая причина расширения, которая играет гораздо большую роль, чем дифференциальное действие галактического вращения. Именно остается предположить, что звезды ассоциации вылетели в различных направлениях с некоторыми скоростями из того первоначального объема, в котором они образовались.

Эти начальные скорости должны быть не меньше 1 км/с, так как в противном случае уже при размерах ассоциации в несколько десятков парсек эффектом дифференциального вращения нельзя будет пренебречь. С другой стороны, они должны быть меньше 10 км/с, так как в противном случае при определении радиальных скоростей звезд, например в ассоциации вокруг NGC 6231, это бросилось бы в глаза.

Если начальная скорость удаления от центра порядка 5 км/с, то дифференциальный эффект галактического вращения не будет доминировать до тех пор, пока линейные размеры ассоциации достигнут нескольких сот парсек. Но такие размеры будут означать уже полное растворение звезд ассоциации среди звезд поля, т. е. конец ассоциации. Следовательно, сплюснутость ассоциаций при таких скоростях будет слабой. Поэтому скорости выброса порядка 5 км/с являются наиболее правдоподобными.

Это приводит к выводу, что звезды, составляющие ассоциацию объектов типа Т Тельца в Тельце-Возничем, были выброшены из указанного первоначального объема несколько миллионов лет назад; звезды, составляющие ассоциацию вокруг χ Персея, — 10—20 млн. лет назад и т. д.

Момент начала расширения ассоциации должен быть очень близок к моменту образования звезд в ней, так

как допущение о том, что система была долго в стационарном состоянии и только потом вступила на путь расширения, противоречило бы звездной динамике. Отсюда заключаем, что возраст звезд, входящих в ассоциации, измеряется только миллионами или в крайнем случае десятками миллионов лет.

Это находится в хорошем согласии с тем фактом, что в ассоциации встречаются звезды типа Р Лебеда, Вольфа-Райе или Т Тельца. Звезда не может находиться в состоянии Р Лебеда больше 1—2 млн. лет, так как интенсивное выбрасывание вещества привело бы к ее полному исчезновению. С другой стороны, обладая среди всех известных звезд самыми высокими светимостями, звезды Р Лебеда имеют, по-видимому, и наибольшие массы. Если и существуют другие состояния, соответствующие большим или равным массам, то продолжительность их должна быть очень мала, так как такие массы крайне редко встречаются. Но звезды типа Р Лебеда не могли образоваться из звезд меньших масс. Следовательно, их нужно причислить к самым молодым звездам.

Число звездных ассоциаций в Галактике. В настоящее время трудно с определенностью ответить на вопрос о количестве звездных ассоциаций в Галактике. Если говорить только о тех ассоциациях, куда входят звезды-сверхгиганты ранних типов, то они могут быть обнаружены на больших расстояниях (до 2—3 тыс. парсек). Поэтому значительная часть их должна быть нам доступна. Весьма вероятно, что число доступных нам ассоциаций этого типа измеряется десятками. Это означает, что число всех таких ассоциаций в Галактике порядка одной сотни.

Что же касается ассоциаций, которые состоят из звезд Т Тельца и других карликов с яркими линиями в спектрах, то нам сейчас известны только две из них. Однако весьма важно, что они обнаруживаются нами пока только на самых близких расстояниях. В круге с радиусом порядка одной сотни парсек имеется одна такая ассоциация. Это означает, что общее число их в Галактике измеряется тысячами.

Если принять это число равным, скажем, 10 тыс. и учесть, что ассоциации этого типа могут наблюдаться в качестве таковых в течение времени порядка нескольких миллионов лет, то для того чтобы поддерживать ны-

нешнее число этих ассоциаций в Галактике, в среднем на 1000 лет должно приходиться образование не менее одной ассоциации, состоящей из звезд типа Т Тельца.

Вопросы формирования звезд. Некоторые астрономы выдвигали предположение, что все звезды Галактики образовались одновременно или почти одновременно несколько миллиардов лет назад, т. е. в эпоху формирования нашей Галактики. В свете приведенных фактов это предположение совершенно рушится. Образование звездных ассоциаций и формирование звезд в них из какой-то другой формы существования материи происходят непрерывно, «почти на наших глазах». Количество ассоциаций, состоящих из звезд типа Т Тельца, возникших за время жизни Галактики, должно измеряться числом порядка 10 млн. Мы еще не знаем, чему равно среднее число звезд, возникающих в одной ассоциации, так как определяем только наиболее яркие члены. Однако нужно предполагать, что это число измеряется по меньшей мере сотнями.

Это означает, что по крайней мере миллиарды звезд в нашей Галактике сформировались в результате образования звездных ассоциаций из каких-то других, нам неизвестных объектов.

Возможные другие типы ассоциаций. Весьма вероятно, что система звезд типов В и О в Орионе вместе с Трапедией образует одну гигантскую ассоциацию диаметром, превосходящим 100 парсек. Звезды Трапедии и открытого звездного скопления, связанного с ней, образуют, по-видимому, ядро этой ассоциации. Наличие огромной диффузной туманности делает эту систему особенно интересной. Она заслуживает тщательного изучения.

«Движущееся скопление» Большой Медведицы представляет систему из 32 членов, имеющую диаметр более чем 200 парсек. Группа из 11 звезд образует ядро этой системы диаметром всего в 9 парсек. Однако в системе нет прямых признаков, которые указывали бы на молодость входящих в нее звезд. Бросается в глаза также малое число членов в ней. Возможно, что система является остатком некогда богатой ассоциации.

Выводы. В настоящей работе установлено наличие в Галактике огромного числа звездных ассоциаций — звездных систем малой плотности, неустойчивых и рассеивающихся в галактическом пространстве. Уже теперь

ясна огромная роль звездных ассоциаций в вопросах развития звезд. Поэтому они заслуживают самого тщательного изучения.

ОБ ЭВОЛЮЦИИ ГАЛАКТИК

(1958 г.)

Введение. Попытки приблизиться к разрешению вопроса о происхождении галактик основывались до сих пор главным образом на спекуляциях, связанных со стремлением объяснить замечательный факт взаимного удаления внегалактических туманностей. Иными словами, эти попытки производились в рамках существующих космологических теорий, которые, как правило, основываются лишь на некоторых интегральных и средних характеристиках окружающего нас мира галактик.

Хотя изучение ближайших к нам скоплений и групп галактик, а также исследование отдельных галактик еще не продвинулись достаточно далеко, все же накопился уже богатый материал, на который можно опираться при решении вопросов, касающихся возникновения и развития галактик.

При этом особого внимания заслуживают данные, относящиеся к кратным галактикам, к группам галактик и к скоплениям галактик. В этой связи стоит вкратце остановиться на том значении, которое имело изучение кратных звезд и звездных скоплений для проблемы происхождения и эволюции звезд.

1. Само существование звездных скоплений в Галактике вместе с некоторыми статистико-механическими соображениями о необратимом характере процесса распада скоплений привело еще в 30-х годах к выводу о том, что звезды, их составляющие, возникли совместно.

2. Статистические данные, относящиеся к двойным звездам, привели к выводу, что составляющие каждой звездной пары имеют общее происхождение.

3. Само существование звездных ассоциаций дало возможность сделать вывод о продолжающемся в Галактике процессе звездообразования. Открытие расширения звездных ассоциаций позволило сделать заключение о том, что по крайней мере значительная часть звезд, входящих в плоские подсистемы Галактики (спи-

ральные ветви и диск), также возникла в составе звездных групп, теперь уже распавшихся.

4. Изучение диаграмм спектр — светимость для звездных скоплений позволило построить интересные схемы эволюции различных звезд. Эти схемы нуждаются в дальнейшей проверке, однако их значение для решения проблемы чрезвычайно велико.

5. Выделение кратных систем типа Трапеции Ориона дало возможность установить существование особенно молодых кратных звезд и тем самым приблизиться к самому моменту образования звездной группы.

Нам кажется, что в этом отношении положение дел в мире галактик является еще более благоприятным. Кратные галактики и группы галактик дают интересный материал для суждения о групповом возникновении галактик. Более того, тенденция к группированию в мире галактик настолько сильна, что всякое изучение галактик поневоле связывается с вопросом о природе той или иной группы.

Обратим теперь внимание на то, что в кратных галактиках периоды обращения достигают миллиарда лет и более, а в скоплениях время, необходимое для одного оборота вокруг центра скопления, должно измеряться несколькими миллиардами лет. Между тем возраст самих галактик достигает, как принято думать, тоже всего нескольких миллиардов лет. В таком случае как кратные галактики, так и скопления галактик в их настоящем состоянии должны были даже в самой конфигурации компонентов сохранить следы первоначальных условий образования группы. А это, по-видимому, означает возможность приблизиться хотя бы к кинематике тех явлений, которые привели к образованию группы.

Физический смысл тенденции к группированию. После работ Цвикки, а также Неймана, Скотт и Шена имеются веские основания считать, что большинство галактик входит в состав скоплений или групп галактик, в то время как число изолированных галактик в общем метагалактическом поле мало. В этом смысле даже трудно говорить о сколько-нибудь однородном общем метагалактическом поле, которое может быть противопоставлено ступеням галактик. Следует считать, что это поле как раз и состоит в основном из различных скоплений и групп, т. е. из неоднородностей различного масштаба. В этом отношении положение дел в Метага-

лактике сильно отличается от того, что имеет место внутри звездных систем, где обычно доминирует общее звездное поле с медленно меняющейся плотностью, а скопления являются отдельными, сравнительно редко встречающимися в этом поле неоднородностями.

Из статистической механики следует, что скопления и группы с течением времени должны распадаться. При этом распад будет носить различный характер и требовать разных сроков в зависимости от того, находятся ли рассматриваемые скопления и группы в стационарных либо в квазистационарных состояниях с отрицательной энергией или же в состояниях, когда среди членов скопления имеется значительный процент таких, которые обладают положительной энергией и могут сразу покинуть скопление с большой скоростью.

Во втором случае распад должен происходить за время порядка промежутка, необходимого для того, чтобы галактика, входящая в скопление, пересекла его от одного края до другого, т. е. за время порядка сотен миллионов или 1—2 млрд. лет.

В первом же случае, когда скопление обладает отрицательной энергией, распад должен произойти благодаря тому, что в результате взаимных сближений некоторые галактики должны получать положительную энергию и покидать скопление. Иными словами, в этом случае действует механизм, аналогичный тому, который имеет место в стационарных звездных скоплениях. Однако этот механизм требует уже сроков порядка сотен миллиардов и более лет. Поскольку возраст галактик измеряется всего несколькими миллиардами лет, то значение этого механизма в большинстве случаев невелико.

Таким образом, можно сказать, что либо скопления должны распадаться вследствие своей нестационарности, если они имеют в своем составе значительное число членов с положительной энергией, либо они являются стационарными и должны распадаться столь медленно, что эффект этого распада не может иметь существенного значения.

Можно представить себе, конечно, и обратный процесс, когда внешняя галактика входит в скопление со значительной скоростью и, отдав там свою энергию, остается в скоплении. Однако нетрудно показать, что такие процессы при современном состоянии Метагалактики должны происходить с частотой, на много порядков

меньшей, чем прямые процессы выброса галактик из скопления.

Вывод. *В современных условиях Метагалактики скопления и группы могут либо сохраняться, либо распадаться. Но они не могут обогащаться за счет галактик, которые возникли независимо от них.*

Отклонения от диссоциативного равновесия. Заслуживает внимания тот факт, что в составе известных нам скоплений галактик встречаются двойные и кратные галактики. Более часто двойные и кратные галактики встречаются в рассеянных скоплениях типа Virgo. По-видимому, их гораздо меньше в компактных скоплениях типа Coma. В таких сравнительно бедных группах, как местная система галактик, двойные и кратные галактики встречаются относительно часто. Однако если учесть существование субкарликовых галактик типа объектов в Скульпторе и Печи, то каждая из кратных галактик может, по-видимому, считаться группой, состоящей из примерно десятка членов. Так, например, наша Галактика с Магеллановыми Облаками образует тройную систему. Но она окружена еще несколькими субкарликовыми системами типа Скульптора. Галактика в Андромеде является кратной системой, состоящей из пяти членов. Но, вероятно, и около нее имеются системы типа Скульптора. По этой причине, казалось, следовало бы говорить скорее о группах, в которые входят соответственно наша Галактика и М 31. Вспомним, однако, что, говоря о кратности звезд, мы не учитываем возможного присутствия планет, поскольку эти последние обладают массами, незначительными по сравнению со звездами. Точно так же при определении кратности галактик целесообразно не учитывать системы типа Скульптора, как не учитываются и шаровые скопления, имеющие, по-видимому, массы, лишь немного уступающие массам галактик типа Скульптора.

В таком случае приходится считаться с фактом, что в нашей Местной системе, содержащей лишь несколько одиночных галактик (М 33, NGC 6822, IC 1613 и, возможно, некоторые другие), имеется одна тройная галактика и одна галактика еще более высокой кратности. Можно поставить вопрос: каково должно было быть математическое ожидание числа двойных и кратных галактик при диссоциативном равновесии? Оказывается, что математическое ожидание числа двойных галактик

в Местной системе должно было быть меньше 0,05, а числа тройных галактик и галактик более высокой кратности — во много раз меньше. Поэтому тот факт, что мы имеем в Местной группе галактик две системы столь высокой кратности, является очень сильным отклонением от диссоциативного равновесия.

Если бы пары галактик и кратные галактики возникали в результате взаимного захвата (при тройных сближениях) или каким-нибудь иным образом, из независимо друг от друга возникших одиночных галактик, то на начальном этапе развития скоплений в них, конечно, могли бы иметь место отклонения от диссоциативного равновесия. Однако эти отклонения должны были быть в противоположную сторону, т. е. число кратных галактик должно было быть меньше, чем при диссоциативном равновесии. Только с течением времени среднее число кратных галактик в скоплениях могло бы достигнуть теоретического значения, соответствующего диссоциативному равновесию. Процент кратных галактик с точностью до статистических флуктуаций в этом случае никогда не превзошел бы указанного теоретического значения.

Тот факт, что процент кратных систем на самом деле гораздо выше этого теоретического предела, указывает на неправильность нашего предположения о том, что кратные галактики возникли из одиночных.

Вывод. *Составляющие любой кратной галактики возникли совместно.*

Наблюдаемые конфигурации кратных галактик. За время жизни галактик (несколько миллиардов лет) возмущения в состояниях кратных галактик, возникающие вследствие сближений с другими внешними галактиками, должны были быть незначительными. Поэтому можно рассчитывать, что эти состояния носят в себе следы первоначальных условий возникновения кратных систем. Естественно поэтому искать в статистических данных, характеризующих совокупность двойных и кратных галактик, информацию о механизме их образования. К сожалению, мы не располагаем достаточно надежными количественными данными подобного рода. Например, было бы интересно знать закон распределения расстояний между компонентами двойных галактик. Что же касается значений этого расстояния для отдельных изученных пар, то сами по себе они вряд ли могут

дать основание для космогонических обобщений.

Совершенно иначе обстоит дело с кратными галактиками, в которых число компонентов больше двух. Каждая такая галактика характеризуется некоторой пространственной конфигурацией ее компонентов. Рассмотрев даже небольшое число подобных конфигураций, мы можем сделать заключение о преобладающем среди кратных галактик типе конфигураций.

При изучении проблем, относящихся к сравнительно молодым кратным звездам, мы разделили все возможные конфигурации на два главных типа: конфигурации типа Трапеции Ориона и конфигурации обыкновенного типа. Напомним определение тех и других.

Под кратной системой типа Трапеции мы подразумеваем кратную систему, в которой можно найти три таких компонента a , b , c , что все три расстояния ab , bc , ac одинакового порядка величины. Если в кратной системе нельзя найти трех таких компонентов, то ее называют системой обыкновенного типа.

Как известно, среди звезд резко преобладают системы обыкновенного типа. Только лишь среди кратных звезд, в состав которых входят звезды типа O , наблюдается большой процент систем типа Трапеции. В меньшей степени это справедливо в отношении систем, куда входят $B0$ -звезды. Как известно, эта особенность звезд типа O и $B0$ связана с их относительной молодостью. Поскольку, однако, звезды этого типа составляют ничтожный процент всей совокупности кратных звезд, то это не меняет того факта, что кратные звезды, как правило, представляют собой конфигурации обыкновенного типа.

С совершенно иным положением мы сталкиваемся в случае кратных галактик. Если мы берем кратные системы, содержащиеся в опубликованных списках двойных и кратных галактик, то оказывается, что процент конфигураций типа Трапеции среди них значительно превосходит процент систем обыкновенного типа.

Так, например, среди 132 кратных галактик, встречающихся в каталоге Холмберга, 87 имеют такие конфигурации, что, безусловно, должны быть отнесены к типу Трапеции. Только 27 систем являются системами обыкновенного типа, в то время как остальные 18 имеют конфигурации промежуточного типа.

Если мы выберем из каталога визуально кратных

звезд всего неба те шесть кратных, главные компоненты которых обладают наибольшими видимыми яркостями среди всех главных компонентов каталога кратных звезд, то окажется, что все эти шесть кратных звезд имеют конфигурации обыкновенного типа.

Если же теперь мы выпишем из каталога Холмберга шесть кратных галактик с наибольшими яркостями главных компонентов, то все они окажутся системами типа Трапеции.

Возьмем далее наиболее яркую звезду высокой кратности. Например, среди известных нам шестикратных звезд наибольшей видимой яркостью обладает Кастор. Говоря об этой звезде как о шестикратной системе, мы учитываем, что каждый из ее трех визуальных компонентов является спектрально-двойным. Это система, имеющая типичную обыкновенную конфигурацию. С другой стороны, наиболее выдающимся по блеску объектом среди шестикратных галактик является кратная система NGC 6027, изученная Сейфертом. Она является характерной Трапецией.

Вывод. Большинство кратных галактик обладает конфигурациями типа Трапеции.

О причине преобладания конфигураций типа Трапеции. Тот факт, что подавляющее большинство кратных звезд имеет конфигурации обыкновенного типа, находит следующее естественное объяснение. Конфигурация типа Трапеции, как правило, неустойчива даже в том случае, если полная энергия кратной системы отрицательна. С течением времени при близком прохождении друг около друга двух компонентов один из них может приобрести кинетическую энергию, достаточную, чтобы покинуть систему. Это тот же механизм, который действует в открытых звездных скоплениях. Подсчеты показывают, что для разрушения системы, обладающей конфигурацией типа Трапеции, в среднем нужно, чтобы ее компоненты совершили несколько оборотов. Для большинства звезд этот промежуток времени ничтожен по сравнению с их возрастом. Поэтому подавляющее большинство возникших в Галактике систем типа Трапеции должно было разрушиться.

Возраст кратных галактик измеряется несколькими миллиардами лет, между тем как время оборота в них достигает порядка миллиарда лет. Следовательно, компоненты кратных галактик могли успеть совершить лишь

очень небольшое число оборотов. По этой причине кратные галактики, имевшие конфигурации типа Трапеции, не успели разрушиться.

Вывод. *Высокий процент конфигурации типа Трапеции среди кратных галактик находится в полном согласии с соотношением между возрастом галактик и периодами обращения в кратных системах.*

Кратные системы с положительной энергией. Мы до сих пор подразумевали, что все кратные галактики возникают как системы с отрицательной полной энергией.

На самом деле для суждения о знаке энергии данной кратной системы нам нужны довольно подробные данные о массах и скоростях компонентов, помимо данных об их конфигурации. К сожалению, имевшиеся до последнего времени сведения о массах двойных и кратных галактик получались из предположения, что система обладает отрицательной энергией, т. е. из гипотезы, которую как раз надлежит проверить.

Однако окончательное решение вопроса о существовании кратных галактик, обладающих положительной энергией, возможно только на основании критического изучения фактического материала, правда, пока весьма скудного.

Мы приведем здесь некоторые данные, свидетельствующие в пользу того, что некоторые кратные галактики действительно обладают положительной полной энергией:

а) если принять, что все кратные системы обладают отрицательной полной энергией, то из наблюдаемых разностей радиальных скоростей компонентов двойной или кратной галактики можно делать статистические заключения о средних массах галактик. Раздельное рассмотрение вопроса для двойных галактик и для галактик более высокой кратности приводит в этом случае к заключению, что массы галактик, входящих в систему высшей кратности, примерно в 3 раза больше, чем массы компонентов двойных галактик. Поскольку нет оснований считать природу галактик в системах различной кратности различной, приходится допустить, что среди систем высшей кратности относительно чаще встречаются системы с положительной энергией;

б) рассмотрим группу галактик, связанную с M 81. Она состоит из четырех ярких галактик: NGC 3031 (M 81), NGC 3034 (M 82), NGC 2976 и NGC 3077, а также

из нескольких более слабых галактик. Видимые интегральные фотографические звездные величины этих четырех галактик, согласно определению Холмберга, равны 7,85; 9,20; 10,73 и 10,57 соответственно. Если мы не хотим допустить сверхвысоких значений отношения массы к светимости, мы должны принять, что массы всех членов группы, кроме перечисленных, малы, и поэтому можем рассматривать группу как широкую четверную систему. По своей конфигурации она соответствует типу Тrapeции. То, что все четыре перечисленные галактики являются членами одной физической группы, вытекает из следующих соображений. Из них три (кроме М82) имеют близкие радиальные скорости. Их средняя, исправленная за движение Солнца, лучевая скорость равна +72 км/с. Только у галактики М82 лучевая скорость равна +410 км/с. Поэтому относительно нее может возникнуть сомнение в принадлежности к группе. Однако между галактикой М82 и галактикой NGC 3077 существует очень тесное физическое сходство. Обе они принадлежат к категории иррегулярных галактик, состоящих из населения второго типа, и обе обладают высокой поверхностной яркостью. Вследствие того что совпадение указанных характеристик среди относительно ярких галактик встречается очень редко, следует считать крайне невероятным, что мы имеем здесь дело со случайным проектированием М82 на область неба, занимаемую группой. Таким образом, можно считать почти достоверным, что все четыре галактики физически связаны между собой. Тогда разницу в лучевых скоростях следует объяснить орбитальным движением.

Естественно сначала допустить, что наибольшей массой из указанных четырех галактик обладает наиболее яркая, т. е. М81. Но масса ее определена на основании изучения вращения. Она близка к 10^{11} масс Солнца. Лучевая скорость М82 отличается от лучевой скорости М81 на 327 км/с. Разница пространственных скоростей может быть гораздо больше. Нетрудно рассчитать, что такая разность скоростей может соответствовать только гиперболическому движению, если сумма масс галактик М81 и М82 меньше, чем $3 \cdot 10^{11}$ солнечных масс. Таким образом, если предполагать эллиптическое движение, масса галактики М82 должна во всяком случае превосходить $2 \cdot 10^{11}$ солнечных масс. Таким образом, доминирующую роль в системе должна играть галактика

М 82. Если так, то возникает трудность с NGC 3077, лучевая скорость которой отличается от лучевой скорости М 82 уже на 436 км/с и которая находится в проекции на расстоянии почти 55 тыс. парсек от М 82. Для того чтобы объяснить эту разность скоростей, надо допустить, что минимальная масса М 82 больше, чем 10^{12} солнечных масс. Такое предположение ведет к необычайно большому значению отношения M/L для М 82 (порядка 500). Учитывая же, что реальные относительные скорости могут составлять значительные углы с лучом зрения, мы приходим к еще большим значениям массы М 82. Единственным выходом из создавшегося положения является допущение, что галактика М 82 просто удаляется из группы со скоростью, значительно превосходящей скорость отрыва. Это означает, что один из членов группы получил уже в процессе ее возникновения положительную энергию;

в) интересным примером является открытая Цвикки группа из трех галактик: IC 3481, IC 3483 и анонимная галактика, находящаяся между ними. Лучевые их скорости соответственно равны +7011 км/с, +33 км/с и +7229 км/с. Загадкой является галактика IC 3483. Если она физически связана с остальными двумя, о чем свидетельствует соединяющее все три галактики волокно, так же как и близость видимых величин IC 3481 и IC 3483, то мы прямо должны заключить, что имеем дело с галактикой, удаляющейся от группы, в которой она возникла.

Если же IC 3483 случайно проектируется на конец волокна, а на самом деле является близкой галактикой в соответствии со своей радиальной скоростью, то абсолютная величина этой галактики должна быть очень низка. Если, например, допустить, что она входит в состав скопления в Деве, то мы должны приписать этой галактике абсолютную величину около $-14,5$. Такая абсолютная величина является действительно необычайной для спиральных галактик. Поэтому довольно вероятно, что справедливо именно первое предположение*,

г) квинтет Стефана, несомненно, является физической группой. При рассмотрении фотографий этой груп-

* Здесь и в дальнейшем мы исходим из значения постоянной Хаббла $H=180$ км/с на мегапарсек, полученной в работе Хьюмаса, Мейола и Сендеджа.

пы особенно бросается в глаза тесная связь между компонентами NGC 7313 *a* и 7318 *b* этой группы. Несмотря на это, разность лучевых скоростей этих двух галактик достигает почти 1000 км/с. Поскольку две другие галактики этой системы NGC 7317 и NGC 7319 имеют лучевые скорости, отличающиеся от лучевой скорости NGC 7318 *a* не более чем на 100 км/с, то естественно заключить, что галактика NGC 7318 уходит из группы с положительной энергией.

Вывод. Среди кратных галактик встречаются системы, в которых один или несколько компонентов имеют скорости, достаточные для ухода из системы.

О знаке полной энергии больших скоплений галактик. Как известно, для определения средних масс галактик часто к скоплениям галактик применяют теорему вириала. Согласно этой теореме масса скопления определяется из формулы $M = 2v^2R/G$, где v^2 — средний квадрат скорости, отнесенный к центру масс скопления, а R — радиус скопления. Применение теоремы вириала обосновано только в отношении стационарных скоплений, обладающих отрицательной энергией.

Известно, с другой стороны, что применение приведенной формулы к скоплениям галактик приводит к таким значениям их массы, которые ни в коей мере не соответствуют нашим представлениям о массах отдельных галактик, получаемым на основе исследования их собственного вращения. Так, для скопления в Деве получается масса порядка 1500 $M_{\odot}$, где $M_{\odot}$ — масса нашей Галактики. Это означает, что средняя масса галактики в скоплении в Деве порядка $M_{\odot}$. Однако такой массой могут обладать только галактики-сверхгиганты. Между тем мы знаем, что скопление в Деве содержит только несколько десятков сверхгигантов. Подавляющее же большинство членов этого скопления являются карликами, массы которых должны быть заключены между 0,01 $M_{\odot}$ и 0,1 $M_{\odot}$. Это расхождение полностью объясняется, если допустить, что система в Деве имеет положительную полную энергию, т. е. представляет собой распадающееся скопление.

Несколько менее определенными являются данные о скоплении в Соме. Если мы применим теорему вириала, то для его массы получим огромную цифру порядка 5000 $M_{\odot}$. В этом случае получается, что средняя масса членов скопления превосходит половину $M_{\odot}$. Это значе-

ние массы только с большой натяжкой можно примирить со светимостями членов скопления.

Вывод. *Дисперсия скоростей в некоторых больших скоплениях галактик столь велика, что они могут представлять собой распадающиеся системы.*

Радиогалактики в Персее и Лебеде. Если мы примем сделанные выше выводы о совместном образовании компонентов кратной галактики и о взаимном удалении галактик в некоторых скоплениях и группах, то естественно заключить, что каждая группа непосредственно после своего образования представляла систему более тесную, чем мы наблюдаем сейчас. При этом возможны две гипотезы: а) галактики данной группы или кратной системы образуются из единой аморфной массы, диаметр которой по порядку величины не меньше диаметра средней галактики (несколько тысяч парсек); б) первоначальное ядро галактики по неизвестным нам причинам делится на отдельные части, которые дают начало самостоятельным галактикам, составляющим компоненты системы. В этом случае процесс деления должен происходить в небольшом объеме с поперечником, измеряемым парсеками или десятками парсек.

Части разделившегося ядра должны в начальный период удаляться друг от друга со скоростями порядка сотен или даже тысяч километров в секунду. В противном случае их взаимное притяжение не может быть преодолено и получится несколько галактик с совмещенными центрами, которые сольются в одну галактику.

Рассмотрим несколько подробнее вторую гипотезу.

Разделение ядра и последующее взаимное удаление продуктов деления (новых ядер в уже существующей галактике) должны вызвать весьма бурные нестационарные процессы, продолжающиеся в течение нескольких десятков миллионов лет. Можно представить себе, что новые ядра, прежде чем прийти в стационарные состояния, выделяют из себя вещество, которое, распространяясь, образует вокруг них оболочки, состоящие из звезд и газа. Таким образом, мы приходим к представлению о том, что через первоначально существовавшую галактику происходит движение молодых галактик, находящихся в состоянии становления и быстро обрастающих соответствующими оболочками.

Именно такую картину бурных нестационарных процессов мы наблюдаем в случае радиогалактик Лебедь

А и Персей А. Наличие интенсивного радиоизлучения должно при этом рассматриваться как указание на происходящие бурные процессы столкновений масс межзвездного вещества.

В обоих этих случаях мы наблюдаем огромные скорости взаимных движений. Так, галактика NGC 1275 (Персей А) как бы состоит из двух галактик, движущихся относительно друг друга так, что разность лучевых скоростей, определенная Минковским, достигает 3000 км/с.

В случае радиогалактики Лебедь А мы непосредственно наблюдаем два ядра внутри одной галактики. Мы не имеем данных, относящихся к скорости относительно движения этих ядер, однако очевидно, что они не могут быть неподвижными относительно друг друга.

Таким образом, вторая из высказанных выше гипотез находится в соответствии (правда, грубом) с данными о радиогалактиках Лебедь А и Персей А.

Что касается первой гипотезы, то пока трудно говорить о наблюдательных данных, которые бы соответствовали представлению о зарождении групп галактик из аморфного вещества. Наличие радиоизлучения нейтрального водорода в линии 21 см, исходящего от скопления галактик в Сота, Северной Короне и Геркулесе, свидетельствует как будто о существовании больших масс нейтрального водорода в этих скоплениях. Однако неясно, в какой степени эти массы независимы от отдельных галактик. Еще более неясно, как межгалактическое вещество, излучающее в оптических длинах волн, связано с этим нейтральным водородом. Поэтому нет достаточных данных для обоснования и развития первой гипотезы.

Необходимо отметить, что открытие радиогалактик дало повод к выдвижению гипотезы о столкновениях прежде независимых друг от друга объектов. Учитывая, что все радиогалактики, т. е. галактики, дающие особенно интенсивное радиоизлучение, являются сверхгигантами с абсолютной величиной порядка -20 , мы должны отказаться от этой гипотезы, поскольку взаимные столкновения карликовых галактик должны были быть гораздо более частыми.

Вывод. Радиогалактики Персей А и Лебедь А представляют собой системы, в которых имело место деление ядер, но полное разделение галактик еще не наступило.

Радиогалактика Дева А = NGC 4486 = M 87. Эта радиогалактика имеет в оптических лучах две особенности, которые ее выделяют среди других эллиптических галактик: 1) наличие струи со сгущениями, которые испускают поляризованное излучение, и 2) наличие очень большого количества шаровых скоплений.

Тот факт, что струя исходит из центра, не оставляет сомнения в том, что мы имеем в данном случае дело с выбросом из ядра галактики. С другой стороны, наличие поляризации излучения указывает на то, что механизм свечения если не полностью, то частично аналогичен механизму свечения Крабовидной туманности. Отсюда следует, что в сгущениях струи источником излучения являются не только звезды, но и диффузное вещество.

С другой стороны, известно, что источники радиоизлучения сосредоточены непрерывно по всему объему галактики NGC 4486.

Возможны два предположения: а) релятивистские электроны были непосредственно выброшены из ядра галактики и б) из ядра выброшены объекты, которые являются источниками релятивистских электронов столь высокой энергии, что их синхротронное излучение сосредоточено в оптической области.

Ограничиться первой гипотезой невозможно, поскольку в этом случае нельзя будет понять сосредоточение оптического излучения в малом объекте сгущений. Поэтому надо думать, что в самих этих сгущениях сосредоточены источники, испускающие электроны высокой энергии.

Вывод. Наряду с делением ядер галактик в природе могут происходить процессы выбросов из ядер галактик относительно небольших масс. Эти выброшенные массы могут в короткие сроки превращаться в конгломераты, состоящие из молодых нестационарных звезд, межзвездного газа и облаков частиц высокой энергии.

Голубые выбросы из ядер эллиптических галактик. Галактика NGC 4486 не является единственной галактикой, в которой мы наблюдаем выброс вещества из ядра. Особенно интересен случай галактики NGC 3561 а. Эта галактика имеет сферическую форму и истечение в виде струи. Струя заканчивается сгущением, довольно ярким на синем снимке и почти незаметным на красном. Расстояние до галактики NGC 3561 а нам неизвестно. Од-

нако весьма осторожная оценка, основанная на сравнении видимой величины голубого выброса с видимой величиной наиболее ярких галактик того скопления, куда входит NGC 3561a, позволяет считать, что абсолютная фотографическая величина выброса не слабее — 14,5. По своей абсолютной величине этот выброс представляет собой, по существу, карликовую галактику, по-видимому, отделившуюся от ядра гигантской галактики.

Как известно, выброс, наблюдаемый в NGC 4486, является, хотя и в небольшой степени, тоже более голубым, чем основная галактика. Поэтому представлялось целесообразным произвести поиски голубых объектов в окрестностях других эллиптических галактик. Было найдено примерно два десятка голубых спутников, как правило, не связанных струей с главной галактикой и имеющих отрицательный показатель цвета. Значительная часть этих объектов по абсолютной величине намного превосходит обычные звездные ассоциации. Они могут быть приняты за отдельные галактики.

Это не значит, что выбросы из центральных частей эллиптических галактик не могут быть желтыми или даже красными. Однако выбросы с большими показателями цвета трудно отличить от слабых галактик удаленного фона.

В отличие от NGC 4486 выбросы и спутники, о которых здесь идет речь, проектируются уже за пределами изображения наиболее яркой части соответствующей галактики, а иногда и довольно далеко — на расстоянии нескольких радиусов основной галактики. Поэтому нужно считать, что в возрастном отношении эти объекты являются более старыми. Быть может, вследствие этого мы не наблюдаем интенсивного радиоизлучения от них.

Вывод. В некоторых случаях выбросы из центральных частей эллиптических галактик имеют резко выраженную голубую окраску. Независимо от того, является ли причиной голубого цвета наличие большого количества ярких голубых звезд или фиолетовая непрерывная эмиссия, эта особенность не может длительно сохраняться. Поэтому весьма вероятно, что обнаруженные голубые выбросы и спутники являются весьма молодыми галактиками.

Перемышки и волокна, связывающие галактики. Большой заслугой Цвикки является то, что он обратил внимание на существование двойных и тройных галак-

тик, компоненты которых связаны между собой волокнами или перемычками различной толщины. Согласно Цвикки перемычки и волокна состоят из звезд, выброшенных в результате прилива из данной галактики. Нетрудно видеть, что такая интерпретация не соответствует фактическим данным. В самом деле, волокна, соединяющие две галактики, иногда являются весьма тонкими. Между тем если даже предположить, что приливная волна вырвалась как струя с поверхности данной галактики из узколокализованной области и поэтому должна была иметь сначала небольшую толщину, все же вследствие наличия дисперсии скоростей она должна была бы все более расширяться. Отношение толщины к длине на конце струи должно быть порядка отношения дисперсии скоростей звезд к скорости истечения. Простые соображения показывают, что скорость истечения, в свою очередь, не должна превосходить скорости удаления, вызвавшей прилив галактики.

Во многих системах соединяющая перемычка является продолжением спиральных рукавов. Поэтому предположение о приливном происхождении перемычек, по существу, влечет за собой вывод о том, что спиральные рукава также являются продуктом приливного взаимодействия, причем было бы естественно распространить это и на все остальные спиральные галактики, т. е. и на те, которые не входят в пары или группы, связанные между собой перемычками. Такой вывод, однако, мог бы вызвать серьезные возражения. Например, известно, что в плотных скоплениях галактик, где приливные взаимодействия более вероятны, спиральных галактик очень мало, например, в скоплении Coma. Наоборот, их много в разреженных группах и скоплениях.

Поэтому представление о приливных взаимодействиях как причине образования волокон должно быть оставлено. В свете высказанной выше идеи о делении галактик волокна следует рассматривать как последнее звено, связывающее между собой уже разделившиеся и значительно удалившиеся друг от друга галактики.

Вывод. Перемычки и волокна между галактиками не являются следствием приливных взаимодействий. Можно предполагать, что они возникают при взаимном удалении двух или нескольких галактик, возникших из одного ядра.

Галактики типа М 51. Наличие в спиральной галак-

тике М 51 спутника NGC 5195, находящегося на конце спиральной ветви, всегда казалось нам сильным доводом в пользу высказанного в предыдущем пункте предположения. По нашему мнению, тот факт, что спиральный рукав не продолжается или почти не продолжается за NGC 5195, является серьезным свидетельством против предположения, что NGC 5195 случайно проектируется на экваториальную плоскость спиральной галактики NGC 5194. Такой же случай был найден моей студенткой Искударян на картах Паломарского атласа. Речь идет о двойной галактике NGC 7752—7753. На фотографии в синих лучах спиральный рукав состоит из трех параллельных волокон, которые одновременно прерываются, достигнув спутника. Два волокна из трех направлены в центральную область эллиптического спутника, в то время как третье волокно, идя параллельно первым двум, почти доходит до периферии эллиптического спутника и непосредственно перед достижением спутника резко заворачивает к его центру.

Сходство между рассматриваемой двойной системой и М 51 подчеркивается тем, что в обоих случаях при приближении к спутнику кривизна спирального рукава сильно уменьшается.

Таким образом, образование типа М 51 нельзя считать результатом простого проектирования. Как было указано Б. А. Воронцовым-Вельяминовым, это один из типов двойных галактик, в котором компоненты связаны между собой мощным спиральным рукавом, а не тонким волокном. Это, по-видимому, частично обусловлено тем, что расстояние между компонентами, по крайней мере на современной фазе развития системы, сравнительно невелико.

Вывод. *Существование галактик типа М 51 подтверждает гипотезу о связи между процессом деления первоначального ядра и образованием спиральных рукавов.*

Крупные сгущения в спиральных рукавах. Галактики типа Sc и галактики с еще более разложившимися рукавами часто содержат в своем составе яркие сгущения, являющиеся богатыми звездными ассоциациями. Ассоциации горячих гигантов с абсолютной величиной —11 являются уже очень яркими объектами. Но в отдельных случаях галактики типа Sc содержат сгущения еще более высокой светимости. Сгущения, имеющие абсолютную величину около —14, уже могут быть сравнены с

отдельными галактиками. Иными словами, подобные сгущения могут рассматриваться как спутники галактики, а подобная галактика — как некоторая кратная система. Итак между обычными сгущениями в рукавах и галактиками-спутниками нет резкой границы.

Галактика IC 1613, являющаяся членом локальной группы, имеет, как известно, на своей периферии образование, состоящее из целой совокупности О-ассоциаций. Это образование является своего рода сверхассоциацией.

Такая же сверхассоциация, представляющая собой целое созвездие О-ассоциаций, наблюдается на окраине спиральной галактики IC 2574. Подобные сверхассоциации по своим масштабам вполне сравнимы с отдельными галактиками и поэтому тоже могут считаться спутниками соответствующих центральных галактик.

Объекты, о которых говорится в настоящем пункте, являются в известной степени аналогами спутника M 51, но уже состоящими из крайнего населения I типа Бааде. Эти объекты, очевидно, могли возникнуть только в результате отделения значительной и вместе с тем компактной массы от первоначального центрального ядра. Нам кажется, в частности, что существование сверхассоциаций рассмотренного выше типа невозможно объяснить, если допустить, что входящие в них звезды возникли из чисто газовых облаков. В самом деле, газовое облако столь больших размеров, отделившись от центрального ядра, должно было бы рассеяться вследствие эффекта дифференциального вращения по всему объему галактики.

Вывод. Помимо случаев, когда спиральный рукав соединяет данную галактику со спутником, состоящим из населения II типа, имеются случаи, когда спиральный рукав заканчивается спутником, представляющим собой большой конгломерат объектов, относящихся к населению I типа (сверхассоциацию).

О природе ядер галактик. Наши сведения о ядрах галактик весьма скудны. Говоря о ядрах, мы имеем в виду небольшие образования, обладающие диаметром в несколько парсек, очень высокой поверхностной яркостью и находящихся в центре галактики.

Выше мы пришли к выводу, что ядра могут делиться, а также выбрасывать спиральные рукава и радиальные струи, содержащие в себе сгущения. Однако спон-

танное деление звездной системы, состоящей из одних лишь звезд, кажется динамически невозможным. Поэтому если ядра состоят только из звезд, то мы должны отказаться от развитых выше представлений о фундаментальной роли ядра в генезисе галактик и в деле формирования спиральных рукавов. Серьезная трудность возникает из того факта, что плотность нейтрального водорода в области ядра не превосходит плотность водорода во внешних частях (например, в рукавах) нашей Галактики. Вследствие малого объема ядра это означает совершенно ничтожное суммарное количество нейтрального водорода в нем. Между тем в некоторых случаях мы наблюдаем истечение вещества из ядра почти непосредственно. Я имею в виду не только струи в NGC 4486 и NGC 3561, но и истечение межзвездного водорода из центра нашей Галактики, открытое голландскими астрономами. Согласно сообщению Ван дер Холста скорость этого истечения составляет около 50 км/с. Мощность истечения такова, что за промежутки времени порядка миллионов лет может быть выброшена масса порядка сотен тысяч масс Солнца. Таким образом, получается, что поток водорода огромной мощности вытекает из ядра, где его очень мало, по крайней мере в диффузном состоянии.

Здесь мы имеем одну из самых больших трудностей в астрофизике, которая может быть преодолена только путем изменения представления о ядре как звездной системе.

По-видимому, мы должны отказаться от мысли, что ядра галактик состоят только из обычных звезд. Мы должны допустить, что эти ядра содержат весьма массивные тела, которые не только способны разделиться на части, удаляющиеся друг от друга с большими скоростями, но могут также выбрасывать наружу сгустки материи, имеющие массы, во много раз превосходящие массу Солнца.

Новые тела, получающиеся в результате деления, или выброса, удаляются от объема первоначального ядра со скоростями, достаточными для того, чтобы преодолеть притяжение к этому объему, и при этом выделяют значительные массы газов, а также более плотные сгустки. По истечении некоторого времени эти сгустки могут прийти в квазиустойчивое состояние под влиянием собственного притяжения, т. е. превратиться в звезды.

Не все превращения, о которых говорилось выше, должны заканчиваться непосредственно вслед за образованием спирального рукава или новой галактики. В некоторых случаях эти превращения могут запаздывать вследствие перехода ряда отдельных осколков в своего рода метастабильные состояния, и лишь после определенного периода времени эти осколки превращаются в звезды и газ.

Вывод. *Имеются данные, свидетельствующие о возникновении новых галактик и спиральных рукавов за счет вещества, заключенного в ядрах галактик. Эти ядра имеют малые размеры и высокую плотность. Поскольку такие процессы рождения звездных систем не могут происходить за счет звездного населения обычного типа, заключенного в ядрах, мы должны допустить, что ядра могут содержать значительные массы дозвездного вещества.*

О повторении процессов возникновения компонентов и рукавов. Многие спиральные галактики имеют сложное строение, свидетельствующее о том, что процессы выбросов и истечений из их ядер имели место не один раз и в разное время. Так, например, спиральные ветви нашей Галактики и население ее плоских подсистем сконцентрированы около основной плоскости симметрии Галактики. Однако Магеллановы Облака и слабый спиральный рукав, связывающий Облака с Галактикой, сосредоточены в совершенно другой плоскости. Поэтому кажется, что космогонический процесс, ведущий к образованию спиральных рукавов, повторялся в нашей Галактике дважды.

Хотя в нашем распоряжении нет данных о пространственном расположении спиральных ветвей других галактик, тем не менее обзор изображений большого числа внешних галактик в проекции приводит к впечатлению, что спиральная структура не всегда сосредоточена в одной плоскости. Это, в частности, касается галактик, обладающих внешней и внутренней спиральными структурами. В некоторых случаях их плоскости, по-видимому, не совпадают. Если это так, то можно думать, что после возникновения одной из спиральных структур ядро галактики, а возможно, и осколки, удаляющиеся от него, продолжают оставаться потенциальными центрами активных космогонических процессов. С другой стороны, несомненно, существуют ядра, которые уже утратили

эту способность. Наконец, существуют галактики без ядер (как, например, галактики типа Скульптора), где не может быть и речи о формировании новых структурных элементов. Такая градация интенсивности космической деятельности, по-видимому, в какой-то степени зависит от массы и светимости галактик. Галактики-сверхгиганты должны обладать наиболее активными ядрами. В таком случае понятно, почему радиогалактики являются сверхгигантами. Тем не менее возможно, что среди галактик одной и той же массы встречаются объекты, обладающие разной степенью активности.

О роли межзвездного газа. Как показывают радионаблюдения в 21-сантиметровой линии нейтрального водорода, межзвездный газ составляет заметную часть массы спиральных галактик позднего типа, а также галактик неправильной формы. Сопоставляя это с тем, что как раз эти системы особенно богаты О-ассоциациями, обычно делают вывод о возникновении молодых звезд из межзвездного газа.

Однако нам кажется, что параллелизм между присутствием межзвездного газа и наличием О-ассоциаций сам по себе допускает две интерпретации: а) возникновение звезд из газа и б) совместное возникновение звезд и межзвездного газа из дозвездных тел. Поэтому наибольшую ценность должны представлять факты, которые могут позволить делать выбор между этими двумя истолкованиями. Перечислим здесь некоторые из подобных фактов:

А. Ассоциация, в которой находится двойное скопление в Персее, расположена в области, особенно бедной межзвездным газом. Об этом свидетельствуют как обычные наблюдения с помощью небулярных спектрографов, так и радионаблюдения нейтрального водорода. Между тем эта ассоциация является одной из самых богатых среди тех, которые обнаружены в нашей Галактике. Она особенно богата звездами-сверхгигантами. Предположение о том, что возникновение ассоциаций сразу привело к исчерпанию газа, является искусственным. Более того, наличие очень ярких сверхгигантов, возраст которых не превышает 10^6 лет, указывает на то, что формирование звезд в этой ассоциации продолжается. А это совершенно несовместимо с гипотезой о возникновении звезд из газа.

Б. Плотность межзвездного газа в Малом Магелла-

новом Облаке не меньше, а, пожалуй, больше, чем соответствующая плотность в Большом Магеллановом Облаке. Между тем Большое Магелланово Облако гораздо богаче ассоциациями и особенно ассоциациями, состоящими из звезд очень высокой светимости. Допустить, что в малом Магеллановом Облаке ассоциации еще не успели возникнуть, нельзя. В самом деле, время, необходимое для образования ассоциаций, должно быть самое большее порядка 10^7 лет. Между тем современное распределение газа в Малом Облаке должно было существовать не менее чем 10^8 лет. Более того, мы наблюдаем непосредственно некоторое число О-ассоциаций в Малом Облаке. Но они беднее звездами высокой светимости, чем большинство ассоциаций Большого Облака.

В. Наблюдения показывают, что распределение нейтрального водорода в Галактике гораздо лучше коррелирует с распределением классических цефеид, чем с распределением О-ассоциаций. В частности, представляет интерес тот факт, что в Малом Магеллановом Облаке классических цефеид особенно много. Поэтому несомненно, что происхождение классических цефеид так или иначе связано с межзвездным газом. Если считать, что звезды возникают из газа, то это означает, что процесс превращения газа в звезды в Малом Облаке идет уже давно. Это делает еще более острым противоречие, указанное в предыдущем пункте.

Г. Мюнч обратил внимание на то, что в М 13 и в других шаровых скоплениях нашей Галактики имеются отдельные голубые звезды высокой светимости. Между тем на больших расстояниях от плоскости Галактики плотность межзвездного газа должна быть очень мала, в то время как дисперсия турбулентных скоростей должна быть очень велика.

Указанные факты противоречат гипотезе образования ассоциаций из газа. Вместе с тем мы не хотим сказать, что они прямо подтверждают гипотезу совместного образования звезд и газа из прото звезд, имеющих совершенно иную природу. Однако общий параллелизм между количеством газа и наличием ассоциаций свидетельствует о генетической связи между ними. Поэтому гипотеза о совместном возникновении звезд и межзвездного газа является единственным остающимся выходом.

Вывод. Факты, относящиеся к межзвездному газу и ассоциациям, свидетельствуют скорее о совместном возникновении звезд и газа из протозвезд, чем о возникновении звезд из газа.

**К СТАТИСТИКЕ
ВСПЫХИВАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ
(1969 г.)**

1. Вспыхивающие звезды в Плеядах

Трудно переоценить значение работ Аро по изучению вспыхивающих звезд в звездных агрегатах. Фактически ему удалось установить, что если изменения блеска звезд типа RW Возничего характеризуют раннюю молодость звезды (грубо говоря, возраст до 10^7 лет), то вспышки типа UV Ceti соответствуют молодости звезды в гораздо более широком смысле, когда возраст ее не превосходит величину порядка 10^8 лет.

Ярким примером этого являются Плеяды, где к настоящему времени уже открыто до 70 вспыхивающих звезд. Остановимся вкратце на этом примере.

Покажем прежде всего, как можно пытаться оценить полное число вспыхивающих звезд в каком-либо агрегате на основе наблюдений, которые далеко не достаточны для выявления всех вспыхивающих звезд.

Допустим, что наблюдения велись только некоторое время t , в течение которого выявлены все вспышки с амплитудой большей, чем некоторая минимальная амплитуда ϵ , выраженная в звездных величинах. Разумеется, при этом речь идет о наблюдениях с определенным инструментом, мощность которого ограничивает исследуемую совокупность звезд некоторой величиной m_0 .

На самом деле некоторые из вспышек, происшедших за время наблюдений, могут остаться незамеченными, но мы можем ввести некоторое эффективное время, несколько меньшее, чем суммарная длина всех фотографических экспозиций. Точно так же предельная звездная величина различна для вспышек разной амплитуды, и при большей амплитуде могут получаться вспышки звезд, которые в минимуме не получают на снимках даже при больших экспозициях. Тем не менее можно говорить о какой-то эффективной предельной звездной величине в минимуме, слабее которой вспышки не обнаруживаются. Сделаем еще два допущения: примем, что последовательность вспышек каждой звезды носит ха-

рактер случайного стационарного потока событий, распределенного по оси времени согласно закону Пуассона, и что средняя частота вспышек для всех вспыхивающих звезд агрегата одна и та же.

Если N есть полное число всех вспыхивающих звезд в агрегате и ν — средняя частота вспышек у отдельной звезды, то при указанных условиях математические ожидания чисел звезд, не испытывавших за время t ни одной вспышки, имевших по одной вспышке и по две вспышки за тот же промежуток времени, выражаются соответственно формулами:

$$n_0 = Ne^{-\nu t}, \quad (1)$$

$$n_1 = Ne^{-\nu t} \nu t, \quad (2)$$

$$n_2 = Ne^{-\nu t} \frac{\nu^2 t^2}{2}. \quad (3)$$

Деля (3) на (2), получаем

$$\nu t = 2 \frac{n_2}{n_1}, \quad (4)$$

а деля (2) на (1),

$$\nu t = \frac{n_1}{n_0}. \quad (5)$$

Сравнивая (5) с (4), имеем:

$$n_0 = \frac{n_1^2}{2n_2}. \quad (6)$$

Формула (6) позволяет определить математическое ожидание числа не вспыхнувших звезд через математические ожидания чисел звезд, вспыхнувших по одному и два раза.

Заменяя приближенно математические ожидания чисел звезд, вспыхнувших один и два раза, реально наблюдаемыми числами таких звезд, мы получаем, таким образом, практическую возможность найти число не вспыхнувших вспыхивающих звезд, а прибавив сюда полное число всех обнаруженных за время t вспыхнувших звезд, мы получим оценку полного числа вспыхивающих звезд.

Согласно данным Аро к 1966 г. в Плеядах наблюдались вспышки у 60 различных звезд. Из них только по одной вспышке наблюдалось у 52 звезд, а по две вспышки — у 5 звезд. Подставляя эти числа вместо n_1 и n_2 в (6), находим для числа вспыхивающих, у которых не наблюдалось ни одной вспышки, $n_0 = 260$. Прибавив сю-

да полное число звезд, у которых наблюдались вспышки, получаем для полного числа всех вспыхивающих звезд $N=320$.

С другой стороны, можно принять, что все эти звезды должны иметь видимую визуальную величину в минимуме $V > 13,25$, так как самая яркая из обнаруженных вспыхивающих звезд имеет в минимуме $V=13,3$. Число известных звезд Плеяд (включая и звезды, обозначенные Джонсоном и Митчеллом как вероятные члены) ярче $V=13,25$ равно 211. Так как они известны, их суммарная масса может быть подсчитана прямо на основании соотношения масса — светимость. Полная масса первых 211 более ярких членов Плеяд оказывается равной $262 M_{\odot}$. Поскольку общая масса Плеяд из динамических соображений оценивается приблизительно в $400 M_{\odot}$, то получается, что полная масса всех членов Плеяд слабее $V=13,25$ должна быть порядка $140 M_{\odot}$. Но в эти более слабые звезды должны входить все 320 вспыхивающих звезд.

С другой стороны, рассмотрим, какую среднюю массу следует приписать вспыхивающим звездам.

Для этого используем тот факт, что самая яркая из вспыхнувших звезд имеет в минимуме видимую величину $V=13,3$, а наиболее слабая, для которой наблюдалась вспышка, $V=19,5$. Это означает, что абсолютные визуальные величины обсуждаемых 320 вспыхивающих звезд в их минимуме заключены между 7,8 и 14,0, что соответствует интервалу значений масс от $0,6 M_{\odot}$ до $0,12 M_{\odot}$. Поскольку распределение вспыхивающих звезд по массам неизвестно, то трудно оценить среднее значение их массы. Однако арифметическое среднее приведенных предельных значений $0,36 M_{\odot}$ не должно быть слишком завышенной оценкой, так как функция светимости Плеяд в этой области убывает.

В таком случае для суммарной массы всех вспыхивающих звезд мы должны иметь значение около $120 M_{\odot}$. Сравнивая это число с полученной выше суммарной массой всех звезд слабее $V=13,25$ и учитывая, что, вероятно, имеются еще вспыхивающие звезды слабее, чем $V=19,5$ в минимуме, которые мы пока не наблюдаем и которые, очевидно, не входят в полученное число $N=320$, приходим к следующему выводу: все звезды слабее видимой величины $V=13,25$ в Плеядах или подавляющее большинство их являются вспыхивающими.

Этот вывод приобретает еще более твердую почву по следующим соображениям. Выше при выводе формулы (6) мы считали, что вспышки всех звезд подчиняются закону Пуассона с одним и тем же значением параметра ν , т. е. с одной и той же средней частотой вспышек. На самом деле эти частоты должны быть различными, и можно представить некоторые данные в пользу того, что они действительно различны. Легко показать, что при наличии дисперсии значений ν формула (6) приведет к меньшему значению N_0 , чем реальное число вспыхивающих звезд, у которых не наблюдалось ни одной вспышки.

Поэтому реальное число вспыхивающих звезд до $V = 19,5$, вспышки которых еще не наблюдались, должно быть несколько больше, чем 260, а полное число их больше, чем 320.

Учитывая все это, вряд ли можно допустить, что больше, чем 10% всех членов Плеяд, более слабых, чем $V = 13,25$, являются не вспыхивающими. Вполне возможно, что не вспыхивающими являются только некоторые из более ярких звезд такого рода, например часть тех, которые находятся в промежутке от $V = 13,25$ до $V = 14$.

2. Проблемы, относящиеся к вспыхивающим звездам в Плеядах

Из сказанного следует, что замечательные наблюдения Аро и его сотрудников не только установили наличие вспыхивающих звезд среди слабых членов Плеяд, но и позволяют сделать гораздо дальше идущее заключение: почти все, а может быть, и все звезды Плеяд слабее $V = 13,25$ являются вспыхивающими переменными.

Таким образом, вся задача дальнейшего изучения слабых звезд в Плеядах в известном смысле переворачивается. В дальнейшем мы не столько должны быть заинтересованы в подтверждении многочисленности вспыхивающих звезд, сколько в доказательстве существования слабых членов, которые вовсе не вспыхивают.

Казалось бы, сделанный нами вывод о том, что практически все «слабые» звезды Плеяд, т. е. те, у которых $V > 13,25$, являются вспыхивающими, вполне естественен, ибо физическая природа всяких двух звезд в Плеядах, имеющих одинаковую светимость, должна быть оди-

накова, и если одна из них вспыхивает, то должна вспыхивать и другая.

Однако на самом деле нельзя а priori отрицать возможность того, что вспышечная активность у звезд может носить сложный характер и быть периодической или неправильной функцией времени. Например, можно было бы представить себе, что активность замирает на период в несколько лет или десятков лет, а потом снова появляется на определенное время. Поскольку наблюдения вспышек ведутся всего несколько лет, то существование звезд с временно погасшей активностью сказалось бы в наших расчетах так же, как существование не вспыхивающих звезд. Сказанное выше заставляет думать, что либо такие промежутки замирания вспышечной активности отсутствуют, либо они кратковременны и поэтому мало влияют на статистику, либо же таким свойством обладает лишь небольшое число слабых звезд Плеяд.

Другая проблема, вытекающая также из исследований Аро, относящихся к ряду различных агрегатов, заключается в следующем. Из этих исследований следует, что на более ранней стадии жизни скопления вспыхивали и более яркие, чем $V=13,25$, звезды. Но как происходит прекращение больших вспышек? Становятся ли они более редкими или их средняя амплитуда уменьшается постепенно? Для ответа на этот вопрос необходимо сравнить статистику вспышек звезд, непосредственно примыкающих к пределу $V=13,25$, т. е. звезд в промежутке $13,25-14,25$, со статистикой вспышек более слабых звезд. Нам кажется, что это одна из важнейших проблем физики молодых звезд.

Наконец, отметим, что, применяя формулу (4), мы можем из отношения чисел звезд, у которых вспышки наблюдались дважды и однажды, определить νt и отсюда эффективную среднюю частоту вспышек, которая оказывается порядка 10^{-3} , т. е. средний промежуток между двумя последовательными вспышками одной и той же звезды порядка одной тысячи часов. Конечно, речь идет при этом о вспышках с большой амплитудой ($>0^m,6$), которые только и могут обнаруживаться методом, примененным Аро (последовательные десятиминутные экспозиции).

На самом деле, вероятно, частоты вспышек у звезд с разной массой различны. По-видимому, частота испы-

тывает вековые изменения в связи с эволюцией звезды. Представляется очень важным выяснить характер этих изменений, что возможно лишь при сравнении звезд одинаковой массы, но разных возрастов. Для этого, очевидно, надо сравнить частоты вспышек в разных агрегатах.

Исходя из сказанного, мы можем утверждать, что более полное исследование Плеяд в отношении вспыхивающих звезд, так же как и вспышек в других агрегатах, является очень важной и актуальной задачей.

О ПРОИСХОЖДЕНИИ ТУМАННОСТЕЙ

(1982 г.)

С большим удовольствием и теплой симпатией автор посвящает эту работу академику Дж. КСАНТАКИСУ.

1. Вводные замечания

Происхождение и эволюция звезд всегда привлекали внимание астрофизиков. Намного меньше внимания было уделено проблеме происхождения и эволюции туманностей как отдельных объектов. В учебниках туманности часто рассматриваются в главах, посвященных «межзвездной среде». Косвенным образом это создает впечатление, что туманность — это нечто лишенное индивидуальности или нечто вроде флуктуаций «межтуманностной материи». В действительности же туманности являются дискретными объектами, и их взаимные расстояния, как правило, намного превосходят их диаметры. Поэтому следует предположить, что они должны быть взаимно независимыми.

Даже поверхностное изучение известных фактов относительно галактических туманностей достаточно, чтобы заключить, что:

а) наблюдения нам дают намного больше прямой и богатой информации о динамических изменениях и физических процессах, происходящих в туманностях, чем в случае звезд, где наши надежды получить скромное количество прямой информации о внутренней структуре с помощью нейтринных потоков хотя бы для одной звезды пока еще не вполне материализованы;

б) изменения, которые имеют место в туманностях, во многих случаях тесно связаны с какими-то переломными точками в жизни некоторых звезд. Поэтому лю-

бой вывод о происхождении и эволюции туманностей может служить в качестве ценной информации об эволюции и; может быть, даже о происхождении звезд.

Имея в виду эту связь между указанными двумя проблемами, мы здесь постараемся дать краткий обзор идей о происхождении туманностей.

2. Случай, когда туманность связана лишь с одной звездой

Существует несколько классов туманностей более или менее правильной формы, для которых та или иная форма связи с определенной звездой почти очевидна. Решение проблемы происхождения для некоторых из таких классов туманностей с точки зрения современной астрофизики можно считать почти тривиальным. Давайте рассмотрим эти случаи:

а) В течение вспышки Новых мы наблюдаем образование небольших **расширяющихся туманностей** вокруг них. Они расширяются со скоростью около 1000 км/с, и через несколько десятилетий расширяющаяся туманность исчезает в пространстве, которое окружает Новую. Нет сомнений, что туманность выброшена из звезды и состоит из вещества, принадлежащего прежде внешним слоям звезды. Выброшенная масса обычно бывает порядка $10^{-5} M_{\odot}$;

б) Образование планетарных туманностей является результатом выбрасывания внешних слоев их звездных ядер. Образованный в этом случае туманный объект намного более массивен и имеет массу между $0,01 M_{\odot}$ и $0,1 M_{\odot}$. Планетарные туманности тоже расширяются в окружающем пространстве, однако они доступны наблюдениям в течение около 10^5 лет;

в) **Остатки сверхновых (ОСН)** — туманности, которые образовались вследствие огромных звездных взрывов. Считается, что их первоначальная масса приблизительно порядка одной солнечной. Однако в течение расширения первоначальная масса часто увлекает окружающее межзвездное вещество. Таким образом, масса расширяющейся оболочки может расти чрезмерным образом. Так иногда образуются туманности большой массы;

г) Теперь кажется совершенно определенным, что кометарные туманности образуются из вещества,

которое выброшено переменными звездами, находящимися в области их «головы»;

д) Некоторые звезды класса Вольфа-Райе (ВР) нашей Галактики окружены круглыми туманностями, похожими на NGC 6888. Подобные случаи наблюдались в Большом Магеллановом Облаке (БМО). Наблюдательные данные, связанные как с этими звездами, так и с окружающими туманностями, подсказывают, что такие туманности образуются из вещества, изверженного звездами ВР таким же путем, как ОСН образовались вследствие взрыва сверхновой.

Рассмотренные выше пять случаев охватывают все известные классы туманностей более или менее правильной формы. Мы видим, что во всех этих случаях эволюционные переходы материи между плотными звездными телами и разреженным туманным состоянием идут в одном и только в одном направлении: плотное вещество $\rightarrow$ диффузное вещество.

3. Процессы в диффузных туманностях

Около 35 лет назад, когда мы начали исследование звездных ассоциаций, на нас произвел огромное впечатление тот факт, что почти каждая ОВ-ассоциация содержит одну или несколько диффузных туманностей. Исходя из этого, был сделан вывод о том, что образование групп молодых звезд должно происходить одновременно с образованием туманностей, поскольку сами формы туманностей указывали на их неустойчивость и молодость.

Тем не менее многие теоретики, исходя из идей классической космогонии, поспешили из факта существования молодых туманностей в звездных ассоциациях сделать заключение, что здесь мы являемся свидетелями непосредственного преобразования массы туманностей в молодые звезды.

Были предложены различные механизмы так называемого коллапса, но в то же время мы нуждались больше в наблюдательных данных, чем в разработках моделей конденсации вещества.

В результате применения новых наблюдательных методов (наблюдения водорода на 21 см, радионаблюдения молекул, инфракрасные наблюдения, наблюдения тонких деталей с помощью интерферометра со сверх-

длинным плечом) ускорилось накопление необходимых данных. Были обнаружены некоторые качественно новые явления. Среди них: компактные Н II области, находящиеся глубоко в холодных и темных частях туманностей, мазеры OH и H₂O, горячие области инфракрасного излучения. Было показано, что многие оптически яркие эмиссионные туманности, которые окружают группы молодых ОВ-звезд, расширяются со значительной скоростью. Например, в туманности Розетка вокруг скопления NGC 2244 скорость расширения достигает до 20 км/с. Совершенно ясно, что такие случаи прямо противоречат идее конденсации.

Однако позднее, когда было показано, что туманности в ОВ-ассоциациях содержат большие холодные облака водородных и других молекул и что градиент скорости в них, как правило, очень мал, научное мнение снова склонилось в пользу процессов конденсации. А открытие компактных областей ионизованного водорода внутри молекулярных облаков было расценено как прямое доказательство процессов коллапса внутри молекулярных облаков.

Истина же такова, что открытие компактных областей ионизованного водорода в таких облаках может служить лишь прямым свидетельством о процессах образования звезд, но отнюдь не является прямым свидетельством о процессах коллапса.

4. Инфракрасные источники в диффузных туманностях

Согласно классификации Роуэна-Робинсона (1979) все диффузные туманности принадлежат одному из следующих двух классов:

а) холодные туманности без заметного инфракрасного излучения в области 1—20 мкм;

б) облака, которые содержат инфракрасный источник (ИКИ) (или источники). Средние массы облаков второго типа превосходят средние массы холодных облаков. Облака второго типа, как правило, находятся в ОВ-ассоциациях.

Присутствие ИКИ очень часто совпадает с присутствием компактных Н II областей. В этих случаях есть вполне естественное объяснение происхождения ИК излучения. Пыль в облаке полностью поглощает излуче-

ние ОВ-звезды (звезд) и нагрета до температур в несколько сотен градусов.

Однако есть случаи, когда облако содержит ИКИ без радиоконтинуума. Как известно, подобный континуум является неизбежным последствием присутствия Н II области.

Приверженцами гипотезы коллапса эти случаи были рассмотрены как области, в которых окружающее молекулярное облако вследствие коллапса образовало очень молодую звезду, на которую все еще аккрецирует вещество, падающее из облака. Лучшим примером подобного ИК источника может служить источник Клейнмана — Лоу.

Наблюдения показали, что в обоих случаях (в присутствии или отсутствии компактной Н II области) источник сопровождается мазером или группой мазеров (в молекулярных линиях ОН или H_2O). Они были объяснены как следствие возбуждения газов инфракрасным излучением источника.

В конце 70-х годов многие теоретики были убеждены, что дальнейшее детальное исследование объектов, похожих на область Клейнмана — Лоу в Орионе, даст в результате ясную картину процесса коллапса в молекулярных облаках и образования звезд-коконов.

5. Новые наблюдательные данные

За последние три года были получены новые наблюдательные данные, которые полностью изменили ситуацию, описанную выше:

а) Измерения профилей радиолиний СО инфракрасных источников описанных выше типов со значительным угловым разрешением (десятки арксекунд) показали их доплеровское уширение со скоростью 80—90 км/с и даже больше. Это значит, что скорости по отношению к центру масс объекта порядка 40 км/с. В случае падения вещества при конденсации массы $10^3 M_{\odot}$ ожидаемые скорости с трудом могут превысить 10 км/с.

В случае туманностей Клейнмана — Лоу профили похожи на суперпозицию двух профилей: один показывает высокую скорость (плато шириной 100 км/с), другой — низкую скорость (ширина 40 км/с);

б) В каждом случае дисперсия радиальных скоростей мазеров H_2O в таких ИК источниках и вокруг них

находится в хорошем согласии с шириной профилей СО в областях инфракрасного излучения. Очевидно, что это свидетельствует о тесной связи между системами H_2O -мазеров и молекулярным потоком, уширяющим линию;

в) В результате ряда высокоточных наблюдений посредством интерферометров со сверхдлинным плечом положений и определения собственных движений H_2O -мазеров было установлено, что система мазеров внутри инфракрасной области Клейнмана — Лоу в туманности Ориона и вокруг нее расширяется (Гензел и другие, 1981). Центр расширения был определен с достаточно высокой точностью.

В этой туманности есть две расширяющиеся группы мазеров. Одна группа расширяется со скоростью 18 км/с, другая — со скоростью более 40 км/с. Это находится в довольно хорошем согласии как с дисперсией лучевых скоростей мазеров, так и с профилями линий СО.

Более запутанная картина для тангенциальных движений была получена из аналогичного исследования собственных движений H_2O -мазеров в W 51-Главной. Число H_2O -мазеров здесь больше, и общий рисунок отклоняется от картины радиального расширения. Тем не менее вся область находится в энергичном движении, и нет сомнений, что большие скорости стимулированы процессами истечения. В любом случае модель коллапса туманности кажется совершенно невозможной.

6. Оценка выброшенной массы

По оценке Гензела и других (1981), в случае истечения из Молекулярного Облака Ориона (МОО) интенсивность выброса массы составляет около $10^{-3} M_\odot$ за год. В то же время продолжительность истечения, как можно заключить из размеров туманностей Клейнмана — Лоу, не меньше $2 \cdot 10^3$ лет. Следовательно, полная масса, выброшенная из центрального тела в течение процесса истечения, должна превышать $2 M_\odot$.

Первый важный вывод из этих наблюдений тот, что Молекулярное Облако в Орионе (МОО-I) прирост массы получает от тела, расположенного в инфракрасном источнике IRC₂.

Мы не знаем точного значения массы МОО-I. Однако $10^3 M_{\odot}$ нам кажется приблизительно правильным значением этой величины. Сравнивая прирост массы вследствие истечения, наблюдаемого в области туманности КЛ, с этой величиной, мы видим, что относительное увеличение массы туманности сравнительно мало — около 10^{-3} настоящей массы МОО-I.

Однако, если явление истечения повторимо, такой прирост может играть важную роль в образовании массы МОО-I. Рассмотрим теперь свидетельства в пользу повторности истечения.

7. Повторность выбросов

Согласно Доунсу и другим (1981) некоторые свойства, наблюдаемые в МОО-I и W 51-Главной (широкие молекулярные линии, присутствие мазеров), типичны для молекулярных облаков, содержащих инфракрасные источники. Поэтому возможно, что наблюдения молекулярных линий в таких облаках с большим угловым разрешением, так же как и определения собственных движений находящихся там H_2O -мазеров, откроют в них похожую кинематическую картину. И, поскольку большинство ОВ-ассоциаций содержит диффузные туманности с инфракрасным ядром, это означает, что подобное явление выбросов в течение большей части жизни ОВ-ассоциаций в них сохраняется.

Так как продолжительность жизни ОВ-ассоциаций составляет около 10^7 лет, мы можем считать с некоторой уверенностью, что в течение $5 \cdot 10^6$ лет продолжается обогащение облаков, принадлежащих ассоциации. Конечно, центр истечения может менять свое место, процесс выбросов может произойти из различных тел. Но полный прирост массы облаков в ассоциациях за время их жизни может дойти до $10^4 M_{\odot}$.

Таким образом, мы можем предположить, что выбросы из некоторых неизвестных источников, похожих на тех, какие мы наблюдаем в МОО-I, могут играть важную, если не сказать решающую, роль в формировании рассматриваемых облаков.

Конечно, мы не знаем, какие звезды или другие плотные тела являются источниками выбросов таких больших масс. Но мы знаем, что бок о бок с явлением истечения в КЛ-подобных областях происходит выброс из

ВР- и О-звезд, которые наблюдаются в ассоциациях. Количество вещества, которое выбрасывается О-звездой за год, по крайней мере на два порядка меньше, чем в случае КЛ-области, но зато больше продолжительность выброса. Необходимо принять во внимание и то, что в О-ассоциациях одновременно существует несколько О-звезд. Однако вполне возможно, что полное количество вещества, привносимого О- и В-звездами в туманность, меньше, чем молекулярное истечение типа КЛ. Другим источником массы туманностей является большое количество переменных звезд типа Т Тельца. Может быть, даже интегральный выброс массы, обусловленный их деятельностью, больше, чем полная масса, выбрасываемая звездами типа ОВ.

Наш вывод таков: исходя исключительно из наблюдательных данных, мы можем допустить, что большие туманности в ОВ-ассоциациях находятся в процессе роста. Они снабжаются массами, выброшенными плотными телами, находящимися внутри них.

Существует ли необходимость в других факторах, образующих туманности? На этот вопрос мы не можем дать окончательного ответа. Однако обобщенная картина происхождения всех туманностей в Галактике из масс, выброшенных плотными телами, в настоящее время кажется более привлекательной, чем когда-либо.

8. Общее происхождение звезд и туманностей

Целью настоящей статьи было показать, что мы можем попытаться проследить происхождение диффузных туманностей без умозрительных предположений и оставаясь на чисто наблюдательной почве. Возможность такого подхода связана с фактом, что каждая туманность прозрачна для некоторых частот, которые мы имеем возможность использовать для наблюдений. В случае некоторых туманностей правильной формы одни оптические наблюдения дают необходимые данные. Теперь радионаблюдения в частотах молекулярных линий дают решение для диффузных туманностей. Измерения мазеров обеспечивают нас чувствительными данными о внутренней кинематике туманностей в областях сравнительно современного или сравнительно недавнего звездообразования. Но мы не можем получить аналогичных данных о внутренней структуре и динамических процессах в

звездах, которые находятся в процессе формирования.

Однако даже частичное решение задачи происхождения туманностей содержит очень важную информацию о происхождении звезд. Первой и самой важной информацией является почти полное отсутствие свидетельств в пользу явления коллапса в туманностях. Вместо этого там встречаются явления выброса и сильных движений большого количества вещества, имеющих место в областях формирования звезд. Поэтому ясно, что процессы образования звезд и туманностей идут вместе. Идея об их общем происхождении теперь кажется очень вероятной.

Во время наших исследований ОВ-ассоциаций нами было высказано мнение о том, что процесс образования звезд в ассоциациях продолжается в небольших группах. Трапедия Ориона — одна из таких групп. Поскольку туманность Клейнмана — Лоу расположена очень близко к этой кратной системе, создается впечатление, что здесь мы наблюдаем одновременный процесс образования новой звездной группы и выброса туманной массы из некоторого очень массивного тела. Возможно также, что сначала было выброшено туманное вещество, а затем образовались звезды.

В обоих случаях должно было существовать некоторое тело, из которого вырабатывается вещество звезд и выброшенная диффузная материя. Таким образом, мы возвращаемся к идее протозвезд (Амбарцумян, 1948).

В середине этого столетия идея о массивных протозвездах (пока еще не доступных для наблюдателей) встретила мало симпатии среди теоретиков, которые предпочитают продолжать создание моделей гравитационного коллапса. Целое поколение было вскормлено построением этих моделей. Хотя идея коллапса произвела в свет большое число диссертаций о моделях конденсаций, она оказалась почти бесплодной в объяснении того, как образуются звезды.

СОДЕРЖАНИЕ

Космогония и современная астрофизика	8
Звездные ассоциации	19
Об эволюции галактик	28
К статистике вспыхивающих объектов	50
О происхождении туманностей	55

Научно-популярное издание

АМБАРЦУМЯН Виктор Амазаспович ИЗБРАННЫЕ СТАТЬИ

Гл. отраслевой редактор *Л. А. Ерлыкин*

Редактор *И. Г. Вирко*

Мл. редактор *С. С. Патрикеева*

Обложка художника *А. А. Астрецова*

Худож. редактор *Т. С. Егорова*

Технич. редактор *А. М. Красавина*

Корректор *В. В. Каночкина*

ИБ № 9644

Сдано в набор 07.07.88. Подписано к печати 17.08.88. Формат бумаги 84×108/32. Бумага кн.-журнальная. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 3,36. Усл. кр.-отт. 3,57. Уч.-изд. л. 3,56. Тираж 30 561 экз. Заказ 1462. Цена 11 коп. Издательство «Знание». 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 884209. Типография Всесоюзного общества «Знание», Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

ԳԱԱ Հիմնարար Գիտ. Գրադ.



FL0036279

71 4000.

0
571268



СЕРИЯ **КОСМОНАВТИКА,
АСТРОНОМИЯ**