



ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱ

Վ.Ն.ՆԱՄԲԱՐՁՈՒՄՅԱՆ

**ԳԻՏԱԿԱՆ
ԱՇԽԱՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ**

ԵՐԿՈՒ ՀԱՏՈՐՈՎ

Վ.Պ.ՍՈՐՈՒԵՎԻ
ԽՆԲԱԳՐՈՒԹՅԱՄԲ

ՀԱՏՈՐ ԵՐԿՐՈՐԴ

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌԻ Գ Ա ՀՐԱՏԱՐԱԿԿՉՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆ 1960

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

В.А.АМБАРЦУМЯН

НАУЧНЫЕ
ТРУДЫ

В ДВУХ ТОМАХ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ
В.В.СОБОЛЕВА

ТОМ ВТОРОЙ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АН АРМЯНСКОЙ ССР
ЕРЕВАН 1960

*Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
АН Армянской ССР*

ЗВЕЗДНЫЕ АССОЦИАЦИИ

ЗВЕЗДНЫЕ АССОЦИАЦИИ*

Устанавливается наличие в Галактике звездных ассоциаций, представляющих системы звезд, имеющих общее происхождение, но обладающих вообще гораздо более низкой пространственной концентрацией, чем общее звездное поле Галактики, в которое эти ассоциации погружены. Наиболее важными примерами ассоциаций являются группы переменных звезд-карликов типа Т Тельца, а также группы сверхгигантов типов О и В. В случае ассоциаций, состоящих из сверхгигантов, в центре ассоциации находится часто обычное звездное скопление, являющееся ядром ассоциации.

Гигантские скопления в Большом Магеллановом Облаке по всем признакам являются также звездными ассоциациями.

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. То обстоятельство, что в открытых скоплениях энергия гравитационного взаимодействия по порядку величины такова же, как у многих самых обычных визуально-двойных звезд, указывает на родство этих образований между собой.

Однако недавно автором было установлено [1], 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 настоящей статье мы рассматриваем отдельные примеры звездных ассоциаций, различные типы ассоциаций, их свойства.

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 размерами $12^\circ \times 12^\circ$. При расстоянии этой группы порядка 100 *парсек* это означает, что линейный

* Астр. жур., 26, 3, 1949.

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 перемещенных 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.

Согласно известным динамическим критериям это означает, что рассматриваемая система неустойчива и должна разрушаться под действием приливного воздействия общего поля притяжения Галактики. Поэтому следует думать, что система состоит из расходящихся в пространстве звезд.

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 [2] (1948) содержит в небольшой области неба вокруг $\alpha = 18^{\text{h}}40$: $\delta = 9^{\circ}0'$ восемь звезд типа Т Тельца (или по терминологии каталога — типа RW Возничего), из них три с вопросительным знаком, относящимся к типу переменности. Ниже приводим список этих звезд.

Мы видим, что все эти звезды расположены в небольшой области неба, размером $6^{\circ} \times 7^{\circ}$, недалеко от галактического экватора. 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-види-

Название	α	δ	Звездная величина	Тип
V 637 Змееносца	18 ^h 31 ^m 59 ^s	+ 9 51.1	13.6 ^m —16.0 ^m	T Тельца
V 681 Змееносца	32 34	+ 9 06.1	14.2—15.4	T Тельца ?
V 643 Змееносца	32 34	+ 6 16.7	13.6—15.6	T Тельца ?
V 645 Змееносца	33 02	+11 47.1	14.6—15.6	T Тельца ?
V 476 Орла	43 57	+ 7 02.3	13.3—14.2	T Тельца
V 480 Орла	45 43	+ 7 00.7	14.0—16.0	T Тельца
V 489 Орла	50 55	+11 56.3	13.1—14.8	T Тельца
V 490 Орла	53 49	+12 51.1	14.1—15.5	T Тельца

тому, является свидетельством дальности ассоциации в Орле-Змееносце.

3) *Группа звезд типов O и B, а также красных звезд-сверхгигантов вокруг двойного открытого скопления χ и h Персея.* Эта система была исследована Бидельманом [3]. 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 имеет диаметр порядка десяти 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 (HD 12953, 13841, 14134, 14143 и 14818).

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, являющиеся обычными открытыми скоплениями, должны быть устойчивыми образованиями и их разрушение может идти лишь теми путями, которые характерны для открытых скоплений.

4) Открытое скопление NGC 6231 окружено группой сверхгигантов типов O и B. Изучение радиальных скоростей, произведенное Струве [4], показывает, что все эти сверхгиганты вместе со скоплением образуют одну звездную ассоциацию. Расстояние ее от нас около тысячи парсек. Диаметр ассоциации почти в пять раз превосходит диаметр скопления и достигает примерно тридцати 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, хотя открытое скопление NGC 6231, составляющее ее ядро, возможно, устойчиво.

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 звезда S Золотой Рыбы. Диаметр этой системы порядка семи-десяти парсек, что во много раз превосходит размеры обычных галактических скоплений.

6) Звездная ассоциация в площадке Каптейна SA 8 (центр $\alpha = 1^{\text{h}}00^{\text{m}}$, $\delta = +60^{\circ}10'$). Ассоциация является группой слабых звезд типов O и B, занимающей на небе область поперечником в $2\frac{1}{2}$ 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 $8^{\text{m}}0$. Судя по видимым звездным величинам звезд ранних типов, эта ассоциация расположена от нас на расстоянии не менее 2000 парсек. Это дает значение диаметра порядка ста 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 Маркаряну, является открытое скопление NGC 381, имеющее диаметр $7'$, что соответствует линейному поперечнику не менее четырех парсек.

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 не-

прерывное истечение материи. В трех из приведенных шести примеров мы встречаемся со звездами типа Р Лебеда. В четвертом и шестом примерах мы встречаем в числе членов ассоциаций звезды типа Вольфа-Райе. В первых двух примерах мы видим переменные типа Т Тельца, в спектрах которых яркие линии обладают абсорбционными компонентами с фиолетовой стороны, т. е. показывают ту же особенность, что и яркие линии в спектрах звезд Р Лебеда. Поэтому следует считать, что из этих звезд 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 очень большие линейные размеры (в несколько десятков парсек) [5]. 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 двадцать парсек, и б) скопления с диаметрами, меньшими двадцати 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 двадцать 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 ассоциации 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 в 170 парсек. Скопления же χ и h Персея представляется ему лишь уплотнениями, в этой грандиозной системе.

С другой стороны, система NGC 1910, будучи перенесена из Большого Облака в Галактику, на место γ 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 Магеллановом Облаке (числом 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. Скорость взаимного радиального удаления двух звезд под действием эффекта галактического вращения выражается через коэффициент Оорта A следующим образом:

$$V_r = Ar \sin 2(l - l_0).$$

В частности звезда, находящаяся на периферии ассоциации, радиус которой равен R , будет удаляться от центра со скоростью:

$$V_r = AR \sin 2(l - l_0).$$

Эта скорость будет вместе с тем скоростью роста радиуса системы в данной галактической долготе l , т. е.

$$\frac{\partial R}{\partial t} = AR \sin 2(l - l_0).$$

Отсюда, для отношения радиусов R_2 и R_1 для двух моментов времени t_2 и t_1 имеем:

$$\ln \frac{R_2}{R_1} = A (t_2 - t_1) \sin 2(l - l_0).$$

Принимая во внимание значение коэффициента A , мы видим, что для $l - l_0 = 45^\circ$ удвоение расстояния будет происходить за время порядка 40 миллионов лет.

При этом выводе мы фактически принимали, что все звезды ассоциации двигаются по круговым орбитам вокруг центра Галактики. На самом деле заранее нельзя сказать, каковы галактические орбиты раз-

личных звезд. Но если заранее не предполагать больших относительных скоростей в ассоциации, для времени удвоения радиуса всегда получим величину того же порядка.

Сделанный 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 ассоциаций вызывалось только дифференциальным эффектом галактического вращения, то размеры ассоциаций 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 в периодах 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. начальных условий, пока эти амплитуды малы. В самом деле, когда звезда находится на высоте z над плоскостью Галактики, то величина W_z компоненты ускорения определяется интегралом:

$$W_z = -2\pi G \int_{-z}^z \rho(z) dz,$$

где $\rho(z)$ — плотность.

Если z невелико, изменения $\rho(z)$ в пределах между $-z$ и $+z$ относительно малы и поэтому

$$W_z = -4\pi G \rho(0) z,$$

где $\rho(0)$ — плотность в самой плоскости Галактики. Мы видим, что ускорение пропорционально z . Иными словами, при малых амплитудах мы будем иметь дело с гармоническими колебаниями, период которых не зависит от амплитуды.

Поскольку наблюдаемые ассоциации находятся на низких галактических широтах, звезды, в них находящиеся, 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/сек , 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/сек , 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/сек , 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/сек 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,— $10\text{—}20$ миллионов 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 одного-двух миллионов 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 обладают, по видимому, и наибольшими массами. 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 двух-трех тысяч 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, десяти тысячам и учесть, что ассоциации этого типа могут наблюдаться в качестве таковых в течение времени порядка нескольких миллионов лет, то для того, чтобы поддерживать нынешнее число этих ассоциаций в Галактике, в среднем на тысячу 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 происходит непрерывно, «почти на наших глазах». Количество ассоциаций, состоящих из звезд типа Т Тельца, возникших за время жизни Галактики, должно измеряться числом порядка десяти миллионов. 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 Трапецией образуют одну гигантскую ассоциацию с диаметром, превосходящим сто парсек. Звезды Трапеции и открытого звездного скопления, связанного с ней, образуют, по видимому, ядро этой ассоциации. Наличие огромной диффузной туман-

ности делает эту систему особенно интересной. Она заслуживает тщательного изучения.

«Движущееся скопление» Большой Медведицы представляет систему из 32 членов, имеющую диаметр более чем двести парсек. Группа из 11 звезд образует ядро этой системы с диаметром всего в девять 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.

Солнце находится внутри этой системы, но, как известно, не является ее членом.

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.

Бюраканская астрофизическая обсерватория
Академии наук АрмССР

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. А. Амбарцумян, Эволюция звезд и астрофизика, стр. 12–16, 26–27, Ереван, 1947.
2. Б. В. Кукаркин и П. П. Паренаго, Общий каталог переменных звезд, М., 1948.
3. Bidelman, Ap. J., **98**, 61, 1943.
4. Struve, Ap. J., **100**, 189, 1944.
3. Shapley, Galaxies, p. 83, 1945.

Примечание. Настоящая работа послужила началом многочисленных исследований звездных ассоциаций как в нашей стране, так и за рубежом. Особый интерес представляет *предсказание* В. А. Амбарцумяна о расширении ассоциаций со скоростями порядка 5 км/сек. Это предсказание было потом подтверждено рядом астрофизиков (Блаау и др.).

ЗВЕЗДНАЯ АССОЦИАЦИЯ ВОКРУГ Р ЛЕБЕДЯ*

Обнаружение нового типа звездных коллективов — звездных ассоциаций, привело за короткий промежуток времени к ряду интересных выводов в области звездной астрономии. Выяснилось [1], что имеется два основных типа звездных ассоциаций. Один из них, который можно назвать Т-типом, определяется наличием в ассоциациях этого типа некоего числа переменных Т Тельца и отсутствием звезд типов О и В. Другой тип, который можно назвать О-типом звездных ассоциаций, характеризуется наличием значительного числа звезд типов О и В, а иногда также звезд типа Р Лебеда и Вольфа-Райе.

Вследствие низкой светимости звезд типа Т Тельца, по которым мы открываем Т-ассоциации, последние могут быть обнаружены современными средствами только на близких расстояниях, до тысячи парсек. Наличие же горячих звезд высокой светимости в О-ассоциациях позволяет обнаруживать их в нашей Галактике на расстояниях до четырех тысяч парсек и более, а также во внешних галактиках.

Подробное рассмотрение фотографий спиральных систем поздних типов показывает, что спиральные рукава их состоят в основном из отдельных сгущений, которые, как известно, содержат большое число горячих звезд. Нет сомнений, что эти сгущения являются О-ассоциациями, подобными тем, которые обнаружены в нашей Галактике. Просмотр снимка системы М 33, полученного с помощью 8—12-дюймового телескопа Шмидта Бюраканской обсерватории, показал, что в этой системе имеется более ста таких сгущений. Часть этих сгущений имеет, как известно [2], спектр, состоящий из ярких линий и таким образом представляет собой диффузные туманности. Остальные, безусловно, являются О-ассоциациями, точнее их центральными, более плотными частями. Нет, однако, никаких сомнений, что упомянутые диффузные туманности освещены группами О и В звезд с ними связанными, т. е. опять-таки указывают на наличие звездных ассоциаций. В звездной системе М 101

* Сообщения Бюраканской обсерватории, 2, 1949. Соавтор Б. Е. Маркарян.

мы имеем другой яркий пример, когда спиральная система позднего типа содержит большое число звездных ассоциаций.

Естественно, поэтому, что выяснение расположения О-ассоциаций в нашей Галактике должно повести к раскрытию структуры ее спиральных рукавов. Обычные же методы звездной статистики (решение соответствующих интегральных уравнений) здесь не могут дать хороших результатов, так как они приводят к осреднениям, вследствие чего рукава теряются.

С этой точки зрения составление полного списка и описание всех ассоциаций горячих звезд, по крайней мере до расстояния в четыре тысячи парсек, имело бы огромное значение.

В Бюраканской обсерватории уже составлен список более чем двадцати бросающихся в глаза О-ассоциаций.

Однако опубликованы пока лишь характеристики семи ассоциаций: в Персее (вокруг β и γ Персея), в Скорпионе (вокруг NGC 6231) [1], в Кассиопее (вокруг NGC 381) [3], в Орионе (вокруг Трапеции и NGC 1981) [4], Единороге (вокруг NGC 2264) и Стрельце (две ассоциации) [5]. Выяснилось, что в некоторых ассоциациях имеются члены, принадлежащие к классу звезд Р Лебеда. Более того, по-видимому все или почти все звезды этого класса входят в звездные ассоциации. В частности, в ассоциацию NGC 1910, находящуюся в Большом Магеллановом Облаке, входит наиболее яркий представитель этого класса — звезда S Золотой Рыбы.

Встал вопрос о том, не входит ли сам прототип этого класса, т. е. звезда Р Лебеда, в какую-либо О-ассоциацию. Уже поверхностное рассмотрение вопроса показало, что дело так именно и обстоит. Однако дальнейшая работа выяснила настолько поразительные факты, относящиеся к этой ассоциации, что она заслуживает особого внимания и пристального изучения.

Богатство области неба вокруг Р Лебеда звездами типа В бросается в глаза. Область эта довольно резко очерчена. Она простирается вдоль галактического экватора между $l = 39^{\circ},5$ и $l = 45^{\circ}$, обладая по широте протяжением примерно в два градуса. По прямому восхождению она заключена между $20^{\text{h}}0^{\text{m}}$ и $20^{\text{h}}18^{\text{m}}$, а по склонению между 35 и 39° , простираясь вдоль диагонали этого прямоугольника (от угла $\alpha = 20^{\text{h}}00^{\text{m}}$, $\delta = 35^{\circ}$ к противоположному).

Ниже мы приводим некоторые данные о составе этой ассоциации:

1. Каталог фотоэлектрических показателей цвета Стеббинса, Хаффера и Уитфорда содержит 38 звезд типов О и В в этой области неба, для которых, таким образом, известно избирательное поглощение и, следовательно (на основании средних абсолютных величин звезд каждого спектрального подтипа), вероятный «истинный» модуль расстояния.

Нанеся все эти звезды на карту, мы легко убеждаемся, что эти звезды типа О и В образуют как бы две группы в этой области неба. Одна из них простирается по α от $20^{\text{h}}0^{\text{m}}$ до $20^{\text{h}}10^{\text{m}}$, а вторая—от $20^{\text{h}}10^{\text{m}}$ до $20^{\text{h}}18^{\text{m}}$. Первая из них богаче (28 звезд), а вторая (10 звезд) содержит зато самую звезду Р Лебеда.

Было решено определить отдельно для каждой из этих групп средний истинный модуль расстояния. При этом из первой группы исключена звезда HD 191610, которая, судя по модулю ее расстояния, в несколько раз ближе всех других звезд этой группы и, помимо этого, имеет избыток цвета, равный всего $0^{\text{m}}01$, а из второй группы была исключена звезда HD 192987, также очень близкая к нам и имеющая избыток цвета, равный нулю.

После этого мы получили для модуля расстояния первой группы

$$m_0 - M = 10.3,$$

а для второй

$$m_0 - M = 10.1,$$

где m_0 — исправленная за поглощение звездная величина. Дисперсия модулей в обоих случаях была несколько меньше единицы.

Такую близость значений средних модулей для двух групп нельзя считать случайной. Естественно принять, что обе группы находятся в пространстве рядом и составляют одну ассоциацию с модулем расстояния, равным $10^{\text{m}}2$, т. е. отстоящую от нас на расстоянии 1100 парсек. Для линейных размеров ассоциации в проекции получается тогда значение 100×40 парсек.

2. Принимая, что звезда Р Лебеда расположена в этой же ассоциации и учитывая, что среднее поглощение света для звезд этой ассоциации (выводимое по данным об избытках цвета ее членов) порядка $1^{\text{m}}1$, получаем для нее:

$$m_0 = 3.7; \quad M = -6^{\text{m}}5,$$

т. е. абсолютную величину, хотя и несколько более высокую, чем средняя абсолютная величина звезд типа Р Лебеда в Магеллановых Облаках, но гораздо более низкую, чем наивысшая абсолютная величина этих звезд. Заметим, что уже в нашей Галактике, в ассоциации вокруг NGC 6231 звезды типа Р Лебеда в среднем на две величины с небольшим ярче звезд типа СВ0, т. е. имеют абсолютную величину порядка -7.0 . Поэтому полученное значение M для Р Лебеда ни в коем случае нельзя считать чрезмерным. Можно утверждать, что эта звезда также входит в ассоциацию.

3. Помимо указанного выше числа звезд типов О и В в рассматриваемой области неба расположено еще 9 звезд Вольфа-Райе. Такое нагромождение представителей этого малочисленного класса звезд в небольшой области неба ни в коем случае нельзя считать случайным. Они встречаются в обеих частях этой области. Принадлежность их ассоциации не вызывает сомнений. Исходя из этого, можно вычислить их среднюю абсолютную величину. Она оказывается порядка — 3,5, что находится в прекрасном согласии с другими данными об абсолютных яркостях звезд Вольфа-Райе [6].

4. В рассматриваемой области по данным двух каталогов Мерилла и Бурвел отмечено наличие шестнадцати звезд типа Ве. Несомненно, если не все они, то большая часть их также является членами звездной ассоциации. Замечательно, что распределение этих звезд на участке неба, занятом рассматриваемой ассоциацией, более равномерное, чем распределение звезд без ярких линий, так что подсистема этих звезд не разделяется на две группы разной плотности.

5. Одной из особенностей звездных ассоциаций, состоящих из горячих звезд, является наличие в них открытых звездных скоплений, которые являются ядрами ассоциаций [8]. В рассматриваемой области неба в районе Р Лебеда мы имеем по крайней мере пять звездных скоплений, которые, по всей вероятности, входят в состав изучаемой ассоциации. Ниже приводятся координаты центров этих скоплений. Из них три скопления зарегистрированы в старых каталогах и для них приводятся расстояния в парсеках по Тремплеру [7]. Скопления же, обозначенные нами через Б 1 и Б 2, хотя и не были до сих пор зарегистрированы, но представляются совершенно четкими сгущениями среди окружающего звездного поля, в чем можно убедиться хотя бы по картам фотографического атласа неба Франклина и Адамса.

Название	α 1900	δ 1900	Число звезд	Расстояние	d
1. NGC 6871	$20^{\text{h}} 2^{\text{m}} 1$	$35^{\circ} 30'$	11	1340	25
2. Б 1	3.7	35 24	18	—	15
3. Б 2	5.4	35 12	16	—	13
4. NGC 6883	7.5	35 33	19	1810	15
5. IC 4996	12.8	37 20	16	1840	6

В последнем столбце таблицы приводятся угловые диаметры скоплений в минутах дуги. Расстояния, полученные Тремплером, как это видно будет из дальнейшего, преувеличены.

Все перечисленные скопления обладают двумя важными свойствами. Прежде всего, будучи весьма компактными, они состоят из неболь-

шого количества членов. Даже на снимке, полученном в Бюракане, где вышли звезды до 17.0 величины, скопление IC 4996 имеет не более сорока членов, причем главным образом 13 и 14-й величины, а звезд 15 и 16-й величины в нем мало.

Вторым важным обстоятельством является наличие по крайней мере в четырех из этих скоплений исключительных по своему характеру кратных звезд. Данные о них мы приводим ниже, отдельно для каждого из скоплений.

6. *Скопление NGC 6871.* В центре этого скопления находится восьмикратная звезда ADS 13374. Компоненты ее имеют, согласно каталогу ADS, следующие звездные величины:

$A=7.0$; $B=12.0$; $C=11.0$; $D=9.5$; $E=11.5$; $F=7.7$; $G=12.0$; $H=13.8$.

Расстояния между компонентами (округленные до целой секунды) следующие:

$AB=7''$; $AC=9''$; $AD=11''$; $AE=28''$; $AF=36''$; $FG=10''$; $AH=30''$.

Таким образом, в отличие от большинства других кратных звезд, где, обычно, расстояния между различными компонентами являются величинами разного порядка (например система ϵ Лиры, где $AB=3''$; $CD=3''$; $AC=210''$), у ADS 13374 все расстояния почти одного и того же порядка величины. Такая система не может обладать устойчивостью, так как в результате перемещений в системе и сильных взаимных возмущений отдельные компоненты могут приобретать скорости, достаточные для ухода из системы (как это происходит в звездных скоплениях). Такой кратной системой, где расстояния между компонентами являются величинами одного порядка, является, в частности, и Трапеция Ориона. Поэтому все подобные системы удобно называть системами типа Трапеции.

По наблюдениям на Маунт Вилсоне компоненты A, D и F имеют соответственно спектральные типы Oe, B2, O8. Таким образом, спектральные типы близки к тем, которые мы имеем в Трапеции Ориона. По этим типам и видимым визуальным величинам компонентов, исправленным за поглощение порядка 1.1 величины, можно определить, что истинный модуль расстояния этой системы типа Трапеции имеет значение около 10.4, т. е. всего на 0.2 величины отличающийся от модуля расстояния ассоциации. Поэтому следует считать весьма вероятной принадлежность скопления к ассоциации.

Самым поразительным является, однако, то, что в том же скоплении NGC 6871 находится еще одна кратная система типа Трапеции, состоя-

щая из пяти компонентов — система ADS 13368. Яркости компонентов в этой системе равны:

$$A=9.0; B=10.0; C=11.5; D=12.0; E=11.0,$$

а расстояния между компонентами:

$$AB=13''; BC=12''; AD=12''; AE=11''.$$

Интересно, что в этой системе в еще большей степени соблюдается одинаковый порядок расстояний.

К сожалению, мы не могли найти определений спектральных типов компонентов этой системы.

Наконец, в пределах того же скопления находится четверная звезда ADS 13376, которая также принадлежит к типу Трапеции и один из компонентов которой имеет спектральный тип B5п.

Сходство этих трех систем с Трапецией тем более велико, что и сама Трапеция расположена внутри звездного скопления, которое является одним из ядер ассоциации В звезд в Орионе.

7. Скопление Б 1. В скоплении Б 1 расположена тройная звезда ADS 13405. Сама по себе эта тройка из себя ничего необычного не представляет. Одно из расстояний мало по сравнению с двумя другими, а именно: $AB = 1''$; $AC = 5''$. Главная звезда этой тройки имеет видимую визуальную величину 7.2 и спектральный тип B0. Это приводит к модулю расстояния 10.2, т. е. опять к выводу, что тройная звезда и скопление, к которому она принадлежит, находится внутри ассоциации. Ранний спектральный тип главного компонента это подтверждает.

8. Скопление NGC 6883. Это скопление содержит в своей центральной части четверную звезду ADS 13486. Звездные величины компонентов суть: $A = 9.3$; $B = 10.2$; $C = 13.8$; $D = 9.2$. Расстояния же между компонентами равны:

$$AB=1''.1; \quad AC=7''.6; \quad AD=17''.$$

Судя по видимой яркости главной звезды, она должна принадлежать к типу В.

9. Скопление IC 4996. Это скопление представляет выдающийся интерес. Центр его находится всего в 28' от самой звезды Р Лебеда и в 12' от звезды HD 193077, принадлежащей к типу Вольфа-Райе. Самой яркой звездой этого скопления является кратная звезда ADS 13486 (3 442), состоящая по меньшей мере из десяти компонентов. Главная звезда этой системы принадлежит к типу B0.

Яркости компонентов этой интереснейшей кратной звезды равны:

$$A=8.0; \quad B=8.5; \quad C=8.5; \quad a=10.7; \quad b=11.9; \\ c=11.0; \quad d=14.0; \quad e=11.0; \quad g=11.6; \quad h=12.5.$$

Расстояния же компонентов между собой равны:

$$AB=18''; \quad Ac=17''; \quad Aa=4''; \quad Bd=4''; \quad Ab=9''; \\ Ac=19''; \quad Be=8''; \quad Cb=13''; \quad Cg=21''; \quad Ch=15''.$$

По существу эта кратная звезда типа Трапедии представляет собой чрезвычайно компактное звездное скопление из более чем десяти звезд с угловым диаметром порядка $40''$, что в линейной мере означает всего около пятидесяти тысяч астрономических единиц. Вместе с тем и все скопление IC 4996, ядром которого является эта кратная звезда, имеет небольшой диаметр. На прекрасном снимке, полученном с помощью 8-дюймового анаберрационного рефлектора Бюраканской обсерватории, наибольший диаметр этого скопления оценивается всего в $3'.5$, т. е. в линейной мере несколько больше одного парсека. Так как, кроме того, это скопление имеет вытянутую форму, то его объем порядка всего одного кубопарсека.

Выше уже указывалось, что подсчеты, произведенные на бюраканском снимке, позволяют считать общее число звезд в этом скоплении равным 40. Но, очевидно, что это только нижняя граница, так как некоторые более слабые звезды и, особенно, спутники более ярких звезд могли остаться необнаруженными. Поэтому следует считать, что плотность звезд в этом скоплении порядка 50 на кубопарсек, что является очень высокой плотностью. Согласно Тремплеру [7], всего одиннадцать звезд этого скопления принадлежат к типам B0—B7.

Скопление IC 4996 как с точки зрения наличия в центре его кратной звезды, так и с точки зрения числа членов и распределения их по яркостям весьма напоминает скопление вокруг Трапедии Ориона.

10. *Другие кратные системы.* Наряду с кратными системами в открытых скоплениях, входящих в ассоциацию, последняя содержит кратные системы, не являющиеся, по-видимому, членами скоплений. Приведем данные о наиболее интересных из них.

На самой границе области неба, занятой ассоциацией, находится кратная звезда типа Трапедии, ADS 13292 (α 1900 = 19^h58^m6 ; δ 1900 = $+35^{\circ}02'$), состоящая из семи компонентов. Звездные величины компонентов равны 8.8; 13.0; 10.5; 11.5; 11.8; 13.0; 14.0. Спектр главной звезды в HD не дан. Однако ее видимая яркость соответствует предположению о том, что эта система входит в ассоциацию и сама главная звезда является объектом типа B.

Две четверные звезды ADS 13312 и 13361, наиболее яркие компоненты которых принадлежат к типу O, также входят в ассоциацию и дополняют всю картину.

Наконец, на бюраканской фотографии участка неба около Р Лебедя обнаружена еще одна кратная система с приближенными координатами $\alpha 1900 = 20^{\text{h}}11^{\text{m}}1^{\text{s}}$; $\delta 1900 = 36^{\circ}22'$. Система состоит из восьми компонентов, причем наименьшее из расстояний порядка $20''$, а весь диаметр ее около $2'$. Главная звезда имеет звездную величину 8.5.

11. *Природа кратных систем типа Тραπεции.* Кратные системы типа Тραπεции Ориона, где расстояния между компонентами имеют приблизительно один и тот же порядок величины, являются по существу звездными скоплениями с очень небольшим числом членов и малым диаметром. Но, как известно, даже такое стационарное состояние звездных скоплений, при котором ее полная энергия отрицательна, не может длиться неограниченно долго. Под влиянием взаимных сближений звезд некоторые из них должны приобретать энергии, достаточные для ухода из скопления. В результате этого скопление должно разрушиться. То же самое должно произойти и с кратной звездой типа Тραπεции, имеющей отрицательную полную энергию. Компоненты ее должны уходить до тех пор, пока не останется устойчивая система (либо несколько устойчивых систем). Под устойчивым мы понимаем двойные звезды или же тройные системы, в которых одна из звезд на большом расстоянии обращается вокруг тесной пары, либо же четверки, в которых две тесные пары обращаются на большом расстоянии вокруг общего центра тяжести и т. д.

Для полного «разрушения» системы типа ADS 13486 требуется время порядка четырех миллионов лет. Между тем время «оборота» в такой системе, т. е. время, в течение которого звезда дважды успевает в ней пройти от края до края, порядка одного миллиона лет. Поэтому, собственно говоря, ни о какой стационарности не может быть и речи. Такая система разрушается непосредственно после своего возникновения как кратной звезды, т. е. не обладает никакой устойчивостью.

Однако, если предположение об отрицательности энергии системы не приводит в данном случае даже к квазиустойчивости ее, то мы уже не имеем права из самого факта существования системы заключать об отрицательности полной энергии. В таком случае одинаково приемлемы гипотезы о положительности и об отрицательности полной энергии. В обоих случаях система должна распасться. Разница лишь в том, что в случае положительности полной энергии время жизни системы будет меньше одного миллиона лет, а в случае отрицательности ее — около четырех миллионов лет.

Так или иначе, мы должны принять, что рассматриваемая система состоит из только что возникших звезд. Что же касается скопления IC 4996, окружающего систему ADS 13486, то возможно предположить, что члены его ушли из этой кратной системы, которая в прежние времена содержала большее число компонентов.

Наличие в рассматриваемой звездной ассоциации десяти кратных систем, с числом компонентов не меньшим трех, принадлежащих в основном к типу Трапеции, является поэтому важнейшей особенностью этой ассоциации. Мы приходим к неизбежному выводу о том, что если не всегда, то *во многих случаях звезды возникают кратными системами и компактными звездными скоплениями*. Это означает вместе с тем, что образование звезд в ассоциации происходит не в одной какой-либо области, а в нескольких местах параллельно.

12. *Отсутствие объектов некоторых типов*. Одновременно с фактом богатства ассоциаций такими объектами как звезды Ве, Вольфа-Райе, системы типа Трапеции и так далее, следует отметить, что в ассоциациях отсутствуют нестационарные объекты некоторых других типов.

Так, если не считать Р Лебеда за Новую звезду обычного типа (к чему имеются все основания), то можно сказать, что ни одна из известных галактических Новых не вспыхнула в области неба, занимаемой ассоциацией в Лебеде.

Из 35 долгопериодических цефеид, открытых в созвездии Лебеда, в область ассоциации проектируются только две: V 402 и V 438 Лебеда. Вторая имеет модуль расстояния больше 14 величин. Поэтому о ее вхождении в нашу ассоциацию не может быть речи. Что касается V 402, то она имеет видимый модуль расстояния порядка 11.9. Беря поглощение в 1.1 величину, получаем истинный модуль 10.8. Это означает, что, по всей вероятности, эта звезда также находится далеко за ассоциацией.

Итак, распределение цефеид безразлично по отношению к расположению ассоциаций. В этой связи следует напомнить о положении дел в Большом и Малом Магеллановых Облаках. Большое Облако богато ассоциациями, а следовательно и звездами Р Лебеда, Вольфа-Райе и типа О. Малое Облако в несколько раз беднее по каждому типу этих объектов. Между тем долгопериодические цефеиды в Малом Облаке встречаются почти в таком же количестве, как и в Большом.

13. *Сравнение с другими ассоциациями*. Рассматриваемая ассоциация звезд в Лебеде во многих отношениях отличается от других, уже изученных ассоциаций горячих звезд. Пожалуй наиболее ярко выявляются эти различия при сравнении ассоциации в Лебеде с ассоциацией звезд вокруг γ и h Персея.

Бросается в глаза, прежде всего, разница в природе ядер обеих ассоциаций. В то время как ассоциация в Персее имеет два ядра, представляющих собой богатые, яркие и рассеянные скопления, ассоциация в Лебеде имеет, по-видимому, пять ядер, которые, однако, являются малочисленными, слабыми и компактными скоплениями. Суммарная яркость всех этих пяти скоплений мала по сравнению с суммарной яркостью всех остальных звезд ассоциации. Между тем в Персее суммарная яркость скоплений — ядер превосходит суммарную яркость остальных звезд.

Ассоциация в Лебеде исключительно богата кратными звездами и в особенности системами типа Трапеции. В ассоциации вокруг χ и h Персея системы типа Трапеции, по-видимому, вовсе не встречаются.

С другой стороны, ассоциация в Лебеде богата также звездами типа Вольфа-Райе. В этом отношении она особенно отличается от ассоциации в Орионе, где этих звезд совершенно не обнаружено. Зато в Орионе имеется гигантская газовая туманность, чего нет в ассоциации Лебеда.

В какой степени эти существенные различия между упомянутыми тремя ассоциациями обусловлены разницей в их возрастах и в какой степени природой тех тел, из которых сформировались звезды этих ассоциаций и разницей во внешних условиях, при которых происходило это формирование, покажет дальнейшее исследование.

14. *Космогонические замечания.* Изучение большой звездной ассоциации в Лебеде показывает, что звезды в ней возникали группами. Встает вопрос о природе тех тел, из которых эти группы звезд возникли. Надо считать, что эти тела должны были бы иметь объемы, не превосходящие объемов компактных скоплений, которые из них возникли и, вероятно, не больше объемов соответствующих кратных систем типа Трапеции. Это означает, что объемы этих тел, «протозвезд», должны были быть не больше одного кубического парсека. Вероятно, они были в десятки раз меньше. Вместе с тем, нужно думать, что эти тела должны иметь диаметры не меньше 10^4 астрономических единиц по порядку величины.

В самом деле, в противном случае было бы невозможно объяснить происхождение некоторых широких звездных пар и троек.

Но это означает, что тела, из которых формируются в ассоциациях звезды, не являются ни звездами, и ни диффузными туманностями. Можно с уверенностью утверждать, что это тела нового, неизвестного нам типа — новая форма существования материи — ее дозвездная стадия. Наши усилия должны быть направлены на обнаружение и изучение этих тел.

По-видимому нужно считать, что звезды каждой ассоциации возникли не из одного, а из нескольких таких тел. По тем же соображениям, по которым мы вынуждены считать ассоциации неустойчивыми

системами звезд, можно утверждать, что и система таких дозвездных тел не могла долго находиться в устойчивом состоянии. Ее жизнь не могла длиться долго. Поэтому следует допустить, что дозвездные тела возникают путем деления другого более массивного тела, вмещавшего в себе массу всех звезд ассоциации.

Превращение дозвездных тел в звезды в данной ассоциации происходит вообще одновременно, вследствие чего разные звезды ассоциации имеют, вообще говоря, различный возраст.

Вполне возможно, что в ассоциации Лебедя и сейчас имеются «протозвезды», которые еще не испытали превращения в ту или иную звездную группу.

1949, март. 30.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. А. Амбарцумян, Астр. журн., **26**, 3, 1949.
2. Майали Аллер, А. Ж. **95**, 5, 1942.
3. Маркарян, ДАН АрмССР, **10**, № 2, 61, 1949.
4. Гурзаян, ДАН АрмССР, **10**, № 1, 9, 1949.
5. Гурзаян, ДАН АрмССР, **10**, № 3, 107, 1949.
6. Воронцов-Вельяминов, Новые звезды и газовые туманности. Изд. АН СССР, М.—Л., стр. 21, 1948.
7. Тремплер, ЛОВ, **14**, 420, 1930.
8. В. А. Амбарцумян, Эволюция звезд и астрофизика. Изд. АН АрмССР, Ереван, 1947.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ОБ О-АССОЦИАЦИЯХ В ГАЛАКТИКЕ*

Установление существования звездных ассоциаций [1, 2] положило начало целому ряду исследований, относящихся к этим чрезвычайно интересным объектам. Астрономами Бюраканской обсерватории были опубликованы результаты исследования некоторых из ассоциаций горячих звезд, так называемых О-ассоциаций. Самым интересным фактом является то, что каждая из О-ассоциаций имеет одно, а иногда несколько ядер, представляющих собой открытые (рассеянные) скопления.

В Бюракане в настоящее время ведется работа по составлению каталога звездных ассоциаций. Этот каталог будет содержать списки звезд, являющихся членами каждой ассоциации. Однако, поскольку работа над звездными ассоциациями привлекла внимание многих исследователей, представляется целесообразным для облегчения их работы опубликовать предварительный список О-ассоциаций, с некоторыми данными о них.

Результаты обсуждения такого списка приведут, несомненно, к его пополнению и уточнению.

В нижеследующей табл. 1 мы приводим список ассоциаций, составленный по данным, полученным в нашей обсерватории Маркаряном, Гурзадяном, Мирзояном, Бадаляном и автором настоящих строк. Основой исследования служили существующие спектральные каталоги звезд. Однако эти данные пополнялись и подкреплялись сведениями об открытых скоплениях и кратных системах типа Тrapeции [3], полученных по снимкам на 12—8-дюймовом рефлекторе Шмидта Маркаряном, а также путем просмотра карт Франклина-Адамса и каталога двойных и кратных звезд Эйткена.

В первом столбце таблицы дан номер по порядку, во втором название ассоциации, в третьем и четвертом — приближенные экваториальные координаты центра, в пятом — наименования открытых скоплений.

* ДАН СССР, 63, 21, 1949.

входящих в состав данной ассоциации, в шестом—оценка расстояния в парсеках и, наконец, в седьмом отмечается наличие в ассоциации звезд Вольфа-Райс.

Наименование ассоциации производится по созвездию, куда входит ее центральная часть. В случае вхождения в данное созвездие нескольких ассоциаций прибавляется римская цифра в порядке обнаружения.

В отдельных случаях вхождение того или иного скопления в звездную ассоциацию должно быть еще подтверждено. Однако в подавляющем большинстве случаев оно не вызывает сомнений.

Наличие в настоящем списке только двух ассоциаций с расстоянием более 2000 парсек указывает на то, что пока в этом отношении исследована лишь небольшая часть Галактики. Поэтому следует думать, что

Таблица 1

№ пп	Название ассоциации	α	δ	Ядра	Расстояние в парсеках	Звезды
1	Кассиопея III	0 ^h 16 ^m	+62°	NGC 7789, NGC 146, NGC 225	850	
2	Кассиопея IV	0 24	+61	NGC 103, NGC 129 NGC 133, NGC 189	2000	
3	Кассиопея I	1 02	+62	NGC 381, NGC 366	2700	W
4	Персей	2 16	+56	h Персея, γ Персея	1750	
5	Возничий	5 15	-36	M 38, M 36	1000	
6	Единогор II	6 26	+5	NGC 2244	1300	
7	Единогор I	6 30	+10	NGC 2254	480	
8	Орион	5 20	-5	Скопление Трапеции NGC 1981	450	
9	Большой Пес	7 5	-10	NGC 2353, NGC 2335	1200	
10	Парус	7 12	-25	NGC 2354 NGC 2362	800	
11	Киль	10 40	-59	IC 2602 и др.	700	
12	Центавр	13 26	-62	Ап 21	2000	W
13	Скорпион	16 47	-42	NGC 6231	1250	W
14	Стрелец I	17 58	-23	NGC 6530, NGC 6531	1050	W
15	Стрелец II	18 15	-16	NGC 6618	1050	W
16	Щит	18 45	-6	M 11	1250	
17	Лебедь	20 07	+37	NGC 6871, NGC 6883, IC 4996, B1, B2	1100	
18	Цефей II	21 40	+60	Ап 37, NGC 7160	600	W
19	Цефей I	22 27	+57	NGC 7380	1900	W
20	Кассиопея II	23 7	+60	NGC 7510	3000	
21	Кассиопея V	23 52	+61	NGC 7788, NGC 7790, H 21	1800	W

полное число О-ассоциаций в Галактике очень велико. Наш список не может претендовать на полноту даже до расстояния порядка 1500 *парсек*.

Бюраканская астрофизическая обсерватория
Академии наук АрмССР

Поступило 11.VII 1949

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. А. Амбарцумян, Эволюция звезд и астрофизика, Ереван, 1947.
2. В. А. Амбарцумян, Астр. журн., **26**, 3, 1949.
3. В. А. Амбарцумян и Б. Е. Маркарян, Сообщения Бюраканской обсерватории, **2** (1949).

Примечание. В ряде статей Б. А. Воронцова-Вельяминова (см., например, Астр. журн., **28**, вып. 5, 1951) были подвергнуты критике приводимые В. А. Амбарцумяном и Б. Е. Маркаряном данные об О-ассоциациях и высказывались даже сомнения в существовании ассоциаций. Происходившая в связи с этим полемика между В. А. Амбарцумяном и Б. А. Воронцовым-Вельяминовым на страницах различных журналов представляет в настоящее время лишь незначительный интерес.

ЗАМЕЧАНИЕ О ГАЛАКТИКЕ КАК СПИРАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ*

(Представлено 23. VI 1949)

После целого ряда работ, посвященных звездным ассоциациям, стало совершенно очевидным, что наличие значительного количества О-ассоциаций является отличительной чертой строения внешних частей Галактики. Если представим себе наблюдателя, изучающего Галактику извне с помощью снимков в фотографических лучах, и которому свечение ночного неба мешает в такой же степени, что и нам, то на его снимках окрестности Солнца будут совершенно теряться в фоне ночного неба, подобно тому, как на наших снимках теряются самые внешние области туманности Андромеды, имеющие низкую поверхностную яркость. Вместе с тем на его снимках в виде ярких отдельных сгущений будут выделяться звездные ассоциации Галактики. Последние, как мы убедимся ниже на примере ассоциации вокруг скопления NGC 6231 в Скорпионе, обладают в несколько десятков раз более высокой поверхностной яркостью, чем область Галактики, непосредственно окружающая Солнце. Но это означает, что ассоциации являются не только существенной, но и наиболее выдающейся особенностью строения внешних частей Галактики. Подобные объекты имеются в значительных количествах лишь в ветвях спиралей типа Sc, как, например M 33 и M 101, а также в звездных системах типа Большого Магелланова Облака. Подобных крупных сгущений в туманности Андромеды (Sb) очень мало. Поэтому не может быть никаких сомнений, что наша Галактика является спиралью типа Sc и мало похожа на туманность Андромеды.

Особенностью О-ассоциаций Галактики является наличие в некоторых из них звезд типа Р Лебедя. Так, подобные звезды имеются в ассоциациях в Персее (вокруг η и ζ), в Лебеде, в Скорпионе. Точно так же они входят в состав некоторых ассоциаций Большого Облака.

Хотя и не все ассоциации содержат звезды типа Р Лебедя, но, по-

* ДАН АрмССР, 10, 149, 1949.

видимому, все звезды Р Лебеда входят в ассоциации. В общем галактическом поле, вне ассоциаций, их нет. Эта поразительная особенность звезд Р Лебеда, свидетельствующая об их крайней молодости, имеет большое космогоническое значение.

Но известно из исследований последних лет, что в туманности Андромеды не встречаются сверхгиганты с абсолютной величиной ярче -6^m0 . Между тем, звезды Р Лебеда имеют среднюю абсолютную величину порядка -6^m5 . Таким образом, в туманности Андромеды практически нет звезд Р Лебеда. На примере ассоциации в Скорпионе мы убеждаемся, что звезды Р Лебеда, входящие в состав О-ассоциаций нашей Галактики, действительно имеют высокую абсолютную яркость.

Ассоциация в Скорпионе содержит следующие звезды типа Р Лебеда, О-абсорбционные и В0.

Звезды Р Лебеда. HD 151804, 152408, 152236 (ζ^1 Скорпиона).

Звезды О-абсорбционные. HD 152218 (сО9), 152233 (сО8), 152234 (сО9), 152248 (сО9), BD — $41^\circ 11037$ (сО9).

Звезды В0. HD 152003, 152076, 152147, 152235, 152247, 152249, 152314, 152424, BD — $41^\circ 11042$.

Для этих звезд можно сосчитать средние фотографические видимые величины для каждого типа. Получаем: для типа Р Лебеда 5^m4 , для ОА 6^m8 и для В0 7^m4 .

Согласно Струве все перечисленные звезды ОА и В0 имеют с-характеристику. Поэтому им следует приписать фотографическую абсолютную величину несколько выше той (-4.4), которая обычно приписывается звездам ОА и В0. Нам кажется, что оценка -5.0 будет достаточно осторожной для средней абсолютной величины сВ0. Учитывая, что все звезды рассматриваемой ассоциации находятся на одинаковом расстоянии от нас, и то, что влияние поглощения также должно быть приблизительно одинаковым, получаем, что разности видимых величин должны быть равны разностям абсолютных величин. Следовательно, средняя абсолютная фотографическая величина звезд типа Р Лебеда в ассоциации Скорпиона достигает -7.1 , а средняя абсолютная яркость звезд сОА достигает -5.7 . При этом звезда ζ^1 Скорпиона (видимая величина 4.9) достигает, по-видимому, абсолютной величины порядка -7.6 . По всей вероятности, эта звезда является абсолютно наиболее яркой из известных нам в Галактике.

Интегральная видимая фотографическая величина ассоциации достигает 3.4. Отсюда можно определить и интегральную абсолютную величину. Для этого обратим внимание на то, что четыре из звезд ассоциации имеют избытки цвета, определенные Гейденом. Среднее из этих ИЦ равно 0^m39 . Так как по Гейдену его избытки цвета надо умножить

на четыре для того, чтобы получить полное поглощение в визуальных лучах, то мы заключаем, что полное поглощение в фотографических лучах равно $1^m 95$. Отсюда следует, что интегральная видимая фотографическая величина ассоциации, исправленная за поглощение, равна $1^m 5$. Поскольку на небе ассоциация занимает область несколько меньше одного квадратного градуса (если пренебречь несколькими относительно слабыми звездами, расположенными в более широкой области), то отсюда легко рассчитать, что исправленная поверхностная яркость ее порядка $19^m 0$ с квадратной секунды. Между тем поверхностная яркость Галактики в окрестностях Солнца, наблюдаемая извне, должна быть порядка $23^m 3$ с квадратной секунды. Отсюда следует, что ассоциация Скорпиона должна извне представляться имеющей в 50 раз более высокую поверхностную яркость, чем окружающий фон.

Если правильно принято значение поглощения, то модуль расстояния, исправленный за поглощение, определенный по средней видимой величине звезд СВ0, оказывается равным $10^m 5$, что соответствует расстоянию в 1250 парсек. Диаметр ассоциации оказывается равным примерно 20 парсекам.

Несомненно, что в этом случае мы имеем дело с весьма молодой звездной ассоциацией.

Бюраканская астрофизическая обсерватория

Академии наук Армянской ССР

Ереван, 1949, май.

ЗВЕЗДНАЯ АССОЦИАЦИЯ В ЦЕФЕЕ*

(Представлено 23. VI 1949)

1. Известно, что в звездных ассоциациях весьма часто встречаются звезды типа В с яркими линиями. Так, значительное число таких звезд имеется в ассоциации в Лебеде, исследованной Маркаряном и автором [1], в ассоциации вокруг ζ и h Персея и других.

В связи с этим мы обратили внимание на сообщение Моргана и Бидельмана [2], согласно которому в созвездии Цефея в области неба между $22^h 10^m$ и $22^h 45^m$ по прямому восхождению и между $55^\circ 30'$ и $58^\circ 30'$ северного склонения ими обнаружено тридцать звезд типа В с яркой водородной линией H_α , видимые яркости которых заключены между $10^m 1$ и $12^m 2$. Помимо этого, оказалось, что в ту же область неба попадают четыре ранее известных звезды типа Ве, из которых лишь одна несколько выходит из указанных границ. Вот список этих звезд:

HD 240010	$22^h 34^m 6$	$\pm 55^\circ 19'$	$9^m 1$	B0ne
MN _z 73(36)	38.9	59 53	(12)	Ве
HD 215605	41.3	57 20	9.5	Ве
MtW 309	43.7	56 45	9.4	B0ne

В предпоследнем столбце даны видимые фотографические величины. Совершенно очевидно, что здесь мы имеем дело не со случайной флуктуацией числа Ве звезд, а с реальным сгущением этих объектов, что является прямым указанием на наличие здесь О-ассоциации.

Вместе с тем ни одна из О-звезд каталога Черновой [3] не входит в эту ассоциацию. Зато в эту область неба попадает шесть звезд Вольфа-Райе. При этом одна из них (HD 210839) имеет визуальную величину 5.2 и по всей вероятности лишь проектируется на ассоциацию.

Остальные пять (HD 211564, 211853, 213049, 214419 и безымянная

* ДАН АрмССР, **10**, 205, 1949.

звезда $22^{\text{h}}6^{\text{m}}+57^{\circ}15'$) имеют фотографические величины от 9.5 до 12.5. Таким образом, в эту область попадает одно из известных гнезд звезд Вольфа-Райе и нет сомнения, что эти звезды Вольфа-Райе составляют скелет рассматриваемой ассоциации.

Средняя фотографическая величина этих пяти звезд Вольфа-Райе $10^{\text{m}}8$. Если принять их среднюю абсолютную величину равной -3.0 , что несколько ниже (на 0.5 величины) средней абсолютной величины звезд этого типа в ассоциации Лебеда, но настолько же выше других определений средней абсолютной величины этих звезд, то для видимого модуля расстояния получим значение $13^{\text{m}}8$.

С другой стороны, звезды Ве в рассматриваемой ассоциации в среднем на 1.7 величины слабее звезд Ве в ассоциации в Лебеде. Видимый модуль последней (включающий поглощение в фотографических лучах) равен 11.5. Поэтому видимый модуль рассматриваемой ассоциации Цефея по звездам Ве следует считать равным 13.2.

Беря среднее из полученных двух значений, получаем, что видимый модуль расстояния равен 13.6.

Принимая поглощение в рассматриваемом направлении равным $1^{\text{m}}1$ на килопарсек, получаем расстояние порядка 1950 парсек.

2. В той же области неба находится открытое скопление NGC 7380 ($\alpha_{1900} = 22^{\text{h}}43^{\text{m}}$; $\delta_{1900} = +57^{\circ}34'$), содержащее двадцать звезд типов В0—А2. Согласно Тремплеру, расстояние этого скопления до нас равно 1840 парсек. Поэтому, хотя оно расположено эксцентрично, следует считать весьма вероятной его принадлежность ассоциации.

Далее, мы встречаемся в этой ассоциации с рядом явлений, характерных для ассоциаций вообще.

Так, мы встречаем здесь кратную звезду ADS 15789, которая принадлежит к типу Трапеции и имеет пять компонентов. Ее наиболее яркий компонент имеет видимую величину $9^{\text{m}}0$. Вероятно, он принадлежит, как это обычно бывает в таких случаях, к типу О или В0 и в таком предположении для нее получается примерно тот же модуль расстояния, что и для ассоциации.

Две из пяти указанных звезд Вольфа-Райе спектрально двойные. Одна из них (HD 214419) вместе с тем является затменной переменной (Гапошкин). О спектральной двойственности второй (упомянутая выше безымянная звезда) мы узнали из книги Воронцова-Вельяминова [4].

Наши предыдущие исследования показали, что обилие спектрально-двойных и вообще кратных звезд является одним из характерных признаков О-ассоциаций.

Приведенные данные заставляют считать установленным существование ассоциации в созвездии Цефея на расстоянии порядка 1900 парсек.

Линейный диаметр этой ассоциации порядка 140 парсек.

Как уже указывалось выше, ассоциация не содержит ярких звезд типа О. Что касается звезд типа В без линий испускания, то следует сказать, что каталог HD содержит несколько таких звезд в рассматриваемой области, но без указания подтипа. Поэтому желательно тщательное спектральное исследование этого района неба.

Бюраканская астрофизическая обсерватория
Академии наук Армянской ССР
Ереван, 1949, май.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. А. Амбарцумян и Б. Е. Маркарян. Сообщения Бюраканской обсерватории, **2**, 1949.
2. Морган и Бидельман, *Ap. J.*, **103**, 378, 1946.
3. Чернова, *Астр. журн.*, **25**, № 5, 1948.
4. Воронцов-Вельяминов, *Новые звезды и галактические туманности*. Изд. АН СССР, 1948.

ХОЛОДНЫЕ СВЕРХГИГАНТЫ В О-АССОЦИАЦИЯХ*

(Представлено 3.VI 1953)

В предыдущих наших работах [1] по звездным ассоциациям указывалось, что в состав ассоциаций горячих гигантов могут входить также холодные сверхгиганты. В качестве примера мы приводили ассоциацию вокруг χ и h Персея, в которую, согласно Видельману [2], входит целый ряд красных звезд высокой светимости, являющихся переменными неправильного или полуправильного типа. Б. В. Кукаркин [3] указал на то, что неправильные или полуправильные переменные — обладающие низкой температурой и очень высокой светимостью, имеют тенденцию встречаться гнездами в тех же местах неба, где расположены некоторые звездные скопления. На тенденцию указанных переменных образовывать пространственные группы указывал также Набоков [4]. Было обращено внимание также на то, что «гранатовая» звезда μ Цефея в проекции находится в самой середине хорошо изученной ассоциации Цефей II и, как сверхгигант, может при наблюдаемой ее видимой величине быть расположена как раз на расстоянии этой ассоциации [5].

Для лучшего выяснения взаимоотношения холодных сверхгигантов, являющихся неправильными или полуправильными переменными с О-ассоциациями, нами были отобраны из 67 звезд списка светимостей неправильных и полуправильных переменных поздних спектральных типов с амплитудами, меньшими двух величин Кинена [6], все те звезды, которые имеют спектр М и класс светимости не ниже Ib. Эти звезды перечислены во втором столбце прилагаемой таблицы.

Координаты этих 14 звезд были сравнены с пересмотренным списком О-ассоциаций Б. Е. Маркаряна [7], в котором приведены границы звездных ассоциаций.

Оказалось, что из 14 звезд десять (TZ Cas, μ Cep, VV Cep, RW Cyg, TV Gem, T Per, RS Per, SU Per, YZ Per, AD Per) заключены внутри границ основного списка ассоциаций Маркаряна. Из остальных пяти звезд

* ДАН АрмССР, **16**, 73, 1953.

две (RW Cep, ST Cep) расположены в пределах, занимаемых группой горячих звезд, которую Маркарян включил в небольшой список вероятных ассоциаций типа O под названием ассоциации Цефея-Ящерицы.

Бетельгейзе (α Ori) находится всего на расстоянии 2° от границ ассоциации Ориона. Однако, принимая во внимание ее значительное

Таблица 1

№ пп	Название	Пределы блеска	Спектр	Класс светимости
1	TZ Cas	9.1-9.7	M2	Ia-Ib
2	μ Cep	4.0-4.8	M2	Ia
3	RW Cep	6.8-7.5	M0	Ia-0
4	ST Cep	7.7-8.9	M0	Ib
5	VV Cep	4.9-5.6	M1p	0
6	RW Cyg	7.6-9.4	M3	Ia
7	AZ Cyg	8.1-9.4	M2	Ia
8	TV Gem	7.0-7.8	M1	Ia
9	α Ori	0.1-1.2	M2	Ib
10	T Per	8.0-9.0	M0	Ia-Ib
11	RS Per	8.0-9.4	M3	Ia-Ib
12	SU Per	7.0-8.5	M3	Ia-Ib
13	YZ Per	7.6-8.3	M1	Ia-Ib
14	AD Per	7.7-8.4	M1	Ia-Ib

собственное движение и значительно меньшее расстояние от нас, следует думать, что она не связана явным образом с этой ассоциацией.

Что касается AZ Cyg, то она находится внутри группировки горячих звезд, которая, по-видимому, является сравнительно бедной ассоциацией, не вошедшей в бюраканский пересмотренный список.

Именно в области неба, где находится AZ Cyg, имеет место одно поразительное явление. В этой области мы имеем три расположенные близко друг к другу кратные системы типа Трапеции Ориона. Экваториальные координаты этих Трапеций так же, как и координаты AZ Cyg, для 1900 года приведены в нижеследующей таблице:

Таблица 2

ADS	Название	α	δ	Кратность	Звездные величины составляющих
14438		20h52m 1	+46°59'	3	9.0; 12; 11
14526	59 Лебеда	56.4	47 08	4	4.7; 9.0; 11.5; 11.0
14545	+46°31'42	57.5	47 06	4	9.2; 9.4; 13.1; 13.8
	AZ Лебеда	54.5	46 05	---	

Главная звезда системы 59 Cyg имеет спектр В3пе, что подтверждает молодость этой системы. Что касается системы AD 14545, то, несмотря на то, что две составляющие этой системы весьма слабы и достигают всего 13-й величины, очень мало вероятно, чтобы она была оптической системой, так как это одна из самых тесных систем типа Трапеции на небе.

Таким образом, в рассматриваемой области неба, в круге радиусом 0.5 градуса, заключается группа из трех Трапеций, в то время как в области радиусом 5° вокруг той же группы, т. е. на площади в сто раз большей, не встречается больше ни одной. Таким образом, нет сомнений, что и здесь мы имеем дело со своеобразной звездной ассоциацией. Подтверждением такого вывода является наличие в непосредственном соседстве с этой группой Трапеций всего на расстоянии около двух градусов к юго-западу от нее следующих двух ярких горячих гигантов:

HD 198478	20 ^h 45 ^m 5 + 45°45′	4 ^m 89	cB2eα
HD 199579	20 53 . 1 + 44 33	6.01	O6

Из сравнения этой и предыдущей табличек очевидно, что переменная AZ Лебеда расположена на небе как раз посередине между рассматриваемыми двумя горячими гигантами и группой из трех трапеций. Наконец, отметим, что в ближайшем соседстве с этой областью находится известная газовая туманность Америка.

Согласно Г. А. Шайну и В. Ф. Газе [8], звезда HD 199579 и ответственна, вероятно, за возбуждение, по крайней мере, яркой северной части туманности Америка. Мало вероятно, что расположение переменной AZ Лебеда именно в этой области неба является случайным следствием проектирования.

Из всех приведенных фактов следует заключить, что *тенденция холодных переменных сверхгигантов с амплитудой меньшей двух величин, класс светимости которых не ниже Ib, входить в O-ассоциации не менее сильна, а скорее несколько более сильна, чем та же тенденция у звезд типа O*. В самом деле, последние ориентировочные подсчеты показывают, что только немного более двух третей звезд типа O, находящихся в окрестностях Солнца, входит в O-ассоциации. Между тем из рассмотренных холодных сверхгигантов только одна α Ori, по-видимому, не входит в O-ассоциацию.

Для контроля правильности нашего вывода мы рассмотрели расположение по небу всех цефеид, которые имеют в максимуме блеск не слабее 7^m0 и амплитуду не менее 1^m0. Очевидно, что все такие цефеиды нам должны быть уже известны. Таких звезд оказалось тринадцать. Но только четыре из них проектируются на области известных ас-

социаций (три — в достоверные, а одна — в «вероятную»). Поэтому исключается предположение о том, что предпочтительное проектирование холодных переменных сверхгигантов на области звездных ассоциаций является следствием особой прозрачности направлений на эти области. Мы не говорим уже о том, что весьма часто направления на ассоциации менее прозрачны, чем соседние направления.

Интересно отметить, что распределение неправильных и полуправильных переменных, являющихся красными гигантами, класс светимости которых ниже Ib, вовсе не показывает связи с O-ассоциациями.

Следует отметить, что генетическая связь между красными сверхгигантами рассматриваемого типа и горячими гигантами подтверждается тем, что одна из звезд табл. 1, именно VV Цефея, имеет спутника спектрального типа В, вместе с которым составляет затменно-двойную систему. Наконец, достойно внимания то, что главная звезда одной из наиболее тесных систем типа Трапеции ADS 6033, состоящей из четырех компонентов, относится к типу М. Это вновь подтверждает, что сверхгиганты типа М могут быть весьма молодыми звездами.

Бюраканская астрофизическая обсерватория
АН Армянской ССР

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. А. Амбарцумян, Астр. журн., **26**, 4, 1949.
2. Бидельман, Ар. Ж., **105**, 492, 1947.
3. Б. В. Кукаркин, Успехи астрономических наук, **4**, 183—184, 1948.
4. Набоков, Выступление на втором космогоническом совещании, 1952.
5. В. А. Амбарцумян, Вводный доклад на симпозиуме по эволюции звезд в Риме. Изд. АН СССР, Москва, 1952, стр. 19.
6. Кинен, Ар. Ж., **95**, 461, 1942.
7. Б. Е. Маркарян, ДАН АрмССР, XV, 1952.
8. Г. А. Шайни и В. Ф. Газе, Изв. Крымской астрофизической обсерватории, **6**, 15, 1951.

КРАТНЫЕ СИСТЕМЫ ТИПА ТРАПЕЦИИ*

Вводные замечания. Сейчас же после того как в 1948 году на основании данных об О-ассоциациях мы установили, что они являются распадающимися системами, было решено обратить внимание на особенности звезд, входящих в О-ассоциации. В начале 1949 года Б. Е. Маркарян и автор заметили, что подобно тому как в центральном скоплении туманности Ориона имеется Трапеция Ориона, так и в находящемся близ центра ассоциации Лебеда небогатом скоплении IC 4996 находится кратная система ADS 13626, которая также отличается от кратных систем обыкновенного типа, как и Трапеция Ориона. Интересная фотография этой системы дана на втором снимке Бюраканского Атласа Открытых Скоплений. В вышедшей в том же году работе Маркаряна и автора об ассоциации вокруг Р Лебеда [1] впервые введено понятие о системах типа Трапеции и установлено их космогоническое значение. В 1950 и 1951 годах были опубликованы весьма важные работы Маркаряна [2, 3], посвященные звездным скоплениям, в которых была выявлена исключительно большая роль систем типа Трапеции в строении О-скоплений. В 1951 году нами были опубликованы в «Докладах АН АрмССР» две статьи о трапециях [4] и о кажущихся трапециях, т. е. псевдотрапециях [5]. В 1952 году на втором космогоническом совещании в Москве П. П. Паренаго [6] сообщил о результатах выполненной им обработки всех произведенных до того момента и опубликованных наблюдений Трапеции Ориона. По мнению Паренаго, эти результаты подтверждают предсказанную в Бюракане положительность полной энергии систем типа Трапеции. В начале 1954 года появилась работа Шарплесса [7], в которой на основании снимков, произведенных в Обсерватории Маунт Вилсон, полностью подтверждена установленная Маркаряном тесная связь систем типа Трапеции с О-скоплениями, подробно рассмотрена связь трапеций с диффузными туманностями, а также найдено несколько новых трапеций.

* Сообщения Бюраканской обсерватории, **15**, 3, 1954.

В настоящее время для дальнейшего развития знаний об этих системах более всего необходимо измерение относительных положений звезд в них и определение спектральных типов составляющих.

Термин «Трапеции», или «системы типа Трапеции», с первого взгляда не очень удобен, так как среди рассматриваемых систем встречаются не только четверки, но и тройки, пятерки и т. д. Однако определение, которое мы даем в § 1, является совершенно ясным и его единственный недостаток заключается в некоторой условности границы между трапециями и системами обыкновенного типа.

Употребление же термина «Трапеции» уже вошло в литературу и не привело и не может привести к каким-либо недоразумениям.

В настоящей статье мы пытаемся дать изложение некоторых вопросов, касающихся систем типа Трапеции.

§ 1. Общие соображения

Большинство кратных систем, наблюдаемых нами, обладает следующим свойством: в них нельзя найти трех составляющих a , b , c , таких, что все три расстояния ab , ac и bc имели одинаковый порядок величины. Кратные звезды, обладающие этим свойством, удобно называть кратными системами *обыкновенного типа*.

Характерным примером кратной системы обыкновенного типа является четверная звезда ε Лиры, состоящая из двух пар: ε^1 Лиры и ε^2 Лиры. Расстояние между этими двумя парами равно $207''.8$. Между тем расстояние между двумя составляющими ε^1 Лиры равно $3''.1$, а расстояние между составляющими ε^2 Лиры всего $2''.3$. Очевидно, что какие бы три звезды мы не выделили в этой четверной системе, одно из расстояний между ними будет по величине на два порядка меньше каждого из остальных двух расстояний.

Если кратная звезда не обладает указанным свойством и в ней можно найти три такие составляющие, все три расстояния между которыми одинакового порядка величины, то мы будем называть ее *кратной системой типа Трапеции*. Интересно, что в самой Трапеции Ориона все шесть расстояний между ее четырьмя главными составляющими одного порядка величины.

Из такого определения очевидно, что в число систем типа Трапеции попадают и такие кратные звезды, конфигурация которых может ничем не напоминать геометрическую трапецию. Так, например, прямолинейная цепочка из трех близких между собой звезд ABC будет считаться системой типа Трапеции, если расстояния AB и BC одинакового порядка величины. Точно так же в число трапеций попадут цепочки из четырех, пяти и большего числа звезд.

Для конкретности дальнейших рассуждений целесообразно условиться точно, в каких случаях мы считаем два расстояния величинами одного и того же порядка. Будем считать, что два расстояния имеют один и тот же порядок величины, если их отношения больше одной трети и меньше трех.

Для начала остановим наше внимание на тройных звездах. В этом случае мы имеем всего три расстояния: АВ, АС и ВС. Обозначим отношение наибольшего из этих расстояний к наименьшему через k . Тройная система будет обыкновенной кратной или кратной системой типа трапеции в зависимости от того, будет ли k больше или меньше трех.

Хорошо известно, что среди наблюдаемых тройных звезд преобладают системы обыкновенного типа. Но для выяснения того, насколько это преобладание реально и не вызвано избирательностью в наблюдениях, а также того, насколько резко оно выражено у звезд разной физической природы, в частности разного спектрального типа, обратимся к некоторым фактам.

В списке ближайших звезд, составленном Койпером [8], где приводятся звезды, удаленные от нас не более чем на 10.5 парсек, имеется семь тройных систем. При этом все главные звезды этих систем относятся к главной последовательности. В табл. 1 приводятся значения логарифмов больших полуосей орбит (выраженные в астрономических единицах) далекого и более близкого спутника (по Койперу), значения логарифмов отношения χ этих полуосей и самих χ . В последнем столбце таблицы даются спектральные типы составляющих в тех случаях, когда они известны.

Таблица 1

Звезда	$\lg a_1$	$\lg a_2$	$\lg \chi$	χ	Спектр
40 Eri	1.53	2.72	1.19	16	K1, wA, M6
α Cen	1.37	4.12	2.75	563	G0, K5, M5e
—8° 4352	0.11	2.80	2.69	490	M2, M5
36 Oph	1.50	3.72	2.22	166	K2, K1, K6
HR 6426	1.10	2.44	1.34	22	K3, K4, M2
μ Her	1.07	2.59	1.52	33	G7, M4
—32° 16135 } —31° 17815 }	1.31	4.52	3.21	1600	M5, M5, M1

Рассмотрение этой таблицы показывает, что: 1) наименьшее значение χ равно 16, т. е. среди ближайших к нам кратных звезд нет ни одной системы типа Трапеции, и 2) среднее значение $\log \chi$ равно 2.27,

т. е. в среднем (геометрическое среднее!) \bar{z} имеет значение порядка двухсот.

Столь большие отношения полуосей орбит позволяют свести движения в каждой такой тройной системе *в первом приближении* к простым кеплеровским движениям по эллиптическим орбитам.

То, что сделанные выводы правильно характеризуют кратные системы, находящиеся в окрестностях Солнца, подтверждается примером единственной четверной звезды, находящейся внутри той же сферы с радиусом в 10.5 парсека — звезды ξ УМа. Эта система представляет собой двойную звезду с большой полуосью относительной орбиты, равной 18 астрономическим единицам, причем обе составляющие, в свою очередь, представляют собой спектрально-двойные звезды со значениями больших полуосей орбит порядка 1.5 и 0.04 а. е. И в этом случае система весьма далека от того, чтобы быть системой типа Трапеции. Дело и в этом случае практически сводится к эллиптическим движениям в системе.

Картина лишь немного изменяется, когда мы вместо ближайших звезд рассматриваем звезды с наибольшим видимым блеском.

Из всех звезд, ярче $4^m 0$ и расположенных севернее параллели $\delta = -30^\circ$, только 15 обладают двумя или более физическими визуальными спутниками. Эти звезды распределяются по спектрам следующим образом:

O—B2	B3—B9	A	F—G	K—M
4	3	3	3	2

Из этих 15 звезд только две (ζ Персея и σ Ориона) являются кратными системами типа Трапеции. Таким образом, и в этом случае обыкновенные системы резко преобладают. Надо учесть также, что в число рассматриваемых 15 систем входят только те кратные системы, в которых, по крайней мере, три компонента визуально разделяются друг от друга. Между тем мы имеем севернее склонения $\delta = -30^\circ$ еще 16 визуально двойных звезд ярче $4^m 0$, у которых, по крайней мере, одна составляющая является спектрально двойной. Все эти системы являются кратными системами обыкновенного типа. Таким образом, мы на самом деле имеем всего 31 кратную звезду ярче $4^m 0$. Причем их распределение по спектральным типам таково:

O—B2	B3—B9	A	F—G	K—M
8	3	8	8	4

Это распределение по введенным нами интервалам спектральных типов можно считать, грубо говоря, равномерным. Между тем обе упо-

мянутые выше кратные системы типа Трапеции оказываются в одном и том же промежутке O—B2. В связи с этим установленное выше отсутствие кратных систем типа Трапеции среди ближайших к нам звезд естественно поставить в связь с отсутствием внутри сферы радиусом 10.5 парсек вокруг Солнца голубых гигантов со спектрами O—B2.

Возьмем теперь звезды ярче видимой величины $5^m.5$, расположенные севернее склонения -30° . Оказывается, что среди них имеется уже 18 звезд, являющихся главными составляющими систем типа Трапеции.

Они распределяются по спектральным типам следующим образом:

O—B2	B3—B9	A	F—G	K—M
5	6	1	3	3

Мы видим в этом случае значительное преобладание звезд типов O—B над другими типами. Это преобладание усиливается, если мы, желая отбросить оптические системы типа Трапеции, когда звезда поля случайно проектируется рядом с двойной звездой, исключим те случаи, когда спутник очень слаб или находится недостаточно близко к главной звезде. Для этого введем хотя бы следующие верхние границы для расстояния d до главной звезды для различных интервалов видимой величины спутника.

m	d
11.5—12.5	10"
10.5—11.5	30
9.5—10.5	50
8.5—9.5	80

Что касается спутников слабее $12^m.5$, то их мы вовсе отбросим, независимо от значения d .

В таком случае в нашем списке останется только 11 звезд. Данные о них приведены в табл. 2. В последнем столбце этой таблицы даются звездные величины тех трех составляющих кратной системы, расстояния между которыми одинакового порядка и расположение которых послужило основанием для отнесения системы к типу Трапеции.

Очевидно, что и введенные нами ограничения на угловые расстояния спутников не исключают возможности того, что среди оставшихся звезд все же имеются оптические трапеции, т. е. случаи, когда на двойную звезду случайно проектируется какая-либо звезда фона. Встает вопрос, какое число систем из перечисленных в таблице одиннадцати может быть оптическими Трапециями. Для ответа на этот вопрос сделаем следующий грубый подсчет. Примем, что случайно проектирующимися звездами фона являются слабейшие компоненты тройных систем

Таблица 2

Название	ADS	HD	Спектр	m_1	m_2	m_3
ζ Per	2843	24398	B1Ib	2.9;	9.3;	11.1
+14°796	3579	31764	B8	5.2;	6.7;	9.0
14 Aur	3824	33959	A2	5.2;	7.2;	11.0
ϑ^1 Ori	4186—8	37022	O7	5.4;	6.8;	6.8
σ Ori	4241	37468	O9.5V	4.0;	7.5;	10.3
30 Cma	5977	57061	O9III	5.0;	10.5;	11.2
P Pup	6205	60863	B8	5.2;	9.3;	10.0
ζ Mon	6617	67954	G0	5.0;	8.5;	10.7
—21°4908	11169	166937	B8p	4.0;	9.5;	9.5
59 Cyg	14526	200120	B3ne	4.7;	9.0;	11.5
+34°4371	14831	202904	B3ne	4.6;	10.2;	10.2

(что по статистическим соображениям более вероятно). Учтем, что средняя звездная величина слабейших компонентов наших систем равна 10.1 и что звезд до $10^m 1$ в экваториальной галактической зоне приходится порядка 10 на квадратный градус. Поскольку для превращения данной двойной звезды, в результате проектирования на нее какой-либо звезды фона, в тройную систему типа Трапеции, могущую попасть в табл. 2, нужно, чтобы звезда фона спроектировалась в круг определенного радиуса вокруг этой двойной звезды (в данном случае этот круг в среднем имеет радиус в $50''$), то элементарным путем, исходя из указанной концентрации звезд фона, находим, что вероятность превращения таким путем одной двойной звезды в оптическую Трапецию равна приблизительно $\frac{1}{180}$.

Однако для того, чтобы получившаяся оптическая группа представлялась системой типа Трапеции, необходимо, чтобы взаимное расположение физического и оптического спутника удовлетворяло определенным условиям. Например, оптический спутник не должен проектироваться слишком близко к одной из двух составляющих, или слишком далеко от обеих. Вероятность выполнения этих условий нами специально не вычислялась. Однако нетрудно убедиться, что она должна быть меньше половины, хотя и не должна по порядку величины отличаться от половины. Поэтому вероятность того, что на данную двойную систему спроектируется звезда и притом так, что получится оптическая система типа Трапеции с характеристиками, заключенными в принятых при составлении табл. 2 границах, должна быть меньше $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{180} = \frac{1}{360}$.

Между тем к северу от $\delta = -30^\circ$ имеется 444 визуальных двойных системы, у которых главная звезда ярче $5^m.5$. Поэтому математическое ожидание числа оптических Трапедий, главные звезды которых ярче $5^m.5$, будет равно 1,2. Таким образом, среди кратных систем типа Трапедии, приведенных в табл. 2, следует ожидать наличие одной-двух оптических систем.

Распределение звезд табл. 2 по спектральным типам следующее:

O—B2	B3—B9	A	F—G	K—M
4	5	1	1	0

Таким образом, из 11 кратных систем типа Трапедии 9 имеют главные звезды типов O и B, т. е. мы имеем резкое преобладание звезд ранних типов. Более того, не исключена возможность того, что единичные экземпляры, принадлежащие к типам A и F—G, как раз являются оптическими системами. Возможно также, что они являются кажущимися системами типа Трапедии, т. е. такими системами обыкновенного типа, которые только в результате проектирования представляются нам системами типа Трапедии. В дальнейшем мы подробнее остановимся на том, как искажаются статистические данные, касающиеся Трапедий, вследствие того, что мы имеем дело не с реальными расстояниями компонентов, а лишь с их проекциями на небесную сферу.

Из приведенных в табл. 2 систем все четыре системы с главными звездами типа O—B2 входят, по всем данным, в те или иные O-ассоциации. В частности ζ Персея входит в ассоциацию Персей II, звезды ν^1 и τ Ориона входят в ассоциацию Ориона и система 30τ Большого Пса входит в звездное скопление NGC 2362, являющееся ядром небогатой группировки горячих гигантов.

Из звезд более поздних спектральных подразделений звезда ADS 11169 (ρ Стрельца), имеющая по уточненной классификации спектр-сB8e, входит, по-видимому, в состав ассоциации Стрелец I. В отношении других звезд типов B3—B9 можно сказать, что они наверное не входят в известные O-ассоциации.

Таким образом, из этого сопоставления мы убеждаемся, что между системами типа Трапедии, главные звезды которых относятся к подразделениям O—B2, и O-ассоциациями существует тесная связь.

§ 2. О псевдотрапедиях

Прежде чем перейти к дальнейшему изучению данных о кратных системах типа Трапедии, следует остановиться на том, что некоторые

кратные, будучи на самом деле системами обыкновенного типа, могут представиться в проекции на небесную сферу кратными системами типа Трапеции. Действительно, нам поневоле приходится в большинстве случаев определять не отношения истинных расстояний между компонентами, а лишь отношения между проекциями этих расстояний на небесную сферу и по значениям этих отношений причислять кратную систему к той или иной категории. При некоторых условиях проектирования система обыкновенного типа может представиться нам системой типа Трапеции. Такие системы мы будем называть псевдотрапециями. Возможно и обратное. Система типа Трапеции в проекции может нам представиться системой обыкновенного типа. Такие системы мы будем называть кажущимися системами обыкновенного типа.

Из простых геометрических соображений очевидно, что если у тройной системы обыкновенного типа отношение k значительно больше $k_0 = 3$ (как это имеет место для тройных звезд, находящихся в окрестностях Солнца), то вероятность того, что при проектировании она окажется системой типа Трапеции, т. е. такой, в которой $k \leq k_0$ будет очень мала по сравнению с единицей, если только допустить, что все ориентировки системы по отношению к наблюдателю равновероятны. Точно так же, если мы имеем систему типа Трапеции, у которой k достаточно близко к единице, то вероятность того, что она представится в проекции системой обыкновенного типа, особенно системой с большим значением будет очень мала. Искажения, происходящие в результате проектирования и приводящие к переходу из одной категории в другую, будут происходить чаще всего в тех случаях, когда k близко к k_0 .

Поскольку из наблюдений получается, что число трапеций во много раз меньше, чем число систем обыкновенного типа, то очевидно, что и число реальных трапеций во много раз меньше числа реальных систем обыкновенного типа. В самом деле, если число реальных трапеций было бы того же порядка, что и число реальных обыкновенных систем, или значительно больше, то переход небольшой части трапеций в категорию кажущихся систем обыкновенного типа не мог бы уменьшить порядок числа систем типа Трапеции и наблюдаемое число их также было бы по порядку величины не меньше числа систем обыкновенного типа.

Таким образом, на самом деле число реальных систем обыкновенного типа во много раз больше, чем число реальных трапеций. Но тогда появляется опасность, что даже небольшой процент систем обыкновенного типа, превратившись при проектировании в псевдотрапеции, может значительно увеличить число наблюдаемых трапеций по сравнению с числом реальных трапеций.

Более того, возникает вопрос: не может ли случиться, что все наблюдаемые кратные системы типа Трапеции являются псевдотрапеция-

ми? Если этот вопрос в такой общей форме решится отрицательно, то его можно также поставить в отношении только тех наблюдаемых трапеций, у которых главная звезда принадлежит к тому или иному физическому типу.

Для того чтобы ответить на эти вопросы, следует сосчитать вероятность превращения при проектировании системы обыкновенного типа в псевдотрапецию, затем помножить число систем обыкновенного типа на эту вероятность и полученное таким образом математическое ожидание числа псевдотрапеций сравнить с общим числом трапеций, наблюдаемых в проекции. Если реальных трапеций вообще (или реальных трапеций, в которых главная звезда имеет заданный физический тип) не существует в Галактике, то число наблюдаемых трапеций, с точностью до случайного отклонения, должно быть равно полученному математическому ожиданию.

Как мы покажем ниже, в случае ранних спектральных типов число наблюдаемых трапеций намного превосходит указанное математическое ожидание. Отсюда можно будет сделать вывод, что существование реальных трапеций, особенно таких, у которых главные звезды принадлежат к спектральным типам O—B2, не подлежит сомнению.

Как мы указывали выше, вероятность превращения тройной системы обыкновенного типа в результате проектирования в псевдотрапецию зависит от значения k . Поэтому, чтобы вычислить среднюю вероятность превращения в псевдотрапецию для всей совокупности тройных систем обыкновенного типа, мы должны знать закон распределения действительных значений k . Хотя данных для сколько-нибудь точного вывода этого закона распределения у нас недостаточно, сделаем все же попытку составить такой закон распределения, который, по крайней мере, не противоречил бы имеющимся скудным данным.

В обыкновенной тройной системе, состоящей из звезд А, В и С, одно из расстояний должно иметь меньший порядок величины, чем два других. Пусть это будет расстояние АВ. Тогда k будет равно большему из

$$\text{отношений } \frac{AC}{AB} \text{ и } \frac{BC}{AB}.$$

Поскольку обе эти величины велики по сравнению с единицей и, вместе с тем, не могут отличаться друг от друга больше, чем на единицу, то мы не сделаем заметной ошибки, положив для определенности

$$k = \frac{AC}{AB}.$$

Изменим мысленно размеры всех систем так, чтобы $AB = 1$

и чтобы сохранялось подобие. Тогда будем иметь: $AC = k$. Совместим после этого мысленно все звезды А изучаемой совокупности тройных звезд обыкновенного типа в одной точке, сохраняя при этом ориенти-

ровку каждой системы. Тогда звезды В расположатся вокруг А на поверхности сферы с радиусом, равным единице, и составляющие С образуют облако точек вокруг А с расстояниями от А, равными k . Поскольку во всех случаях $k > k_0$, так как все наши системы принадлежат к обыкновенному типу, то это облако будет находиться за пределами сферы с радиусом, равным k_0 вокруг А, а тем более за пределами единичной сферы.

Тот факт, что при аналогичном совмещении всех главных составляющих *двойных звезд* [9] их спутники располагаются в пространстве конфигураций с плотностью обратно пропорциональной кубу расстояния от А, приводит к мысли, что и распределение значений k , т. е. выраженного в относительной мере расстояния далекого спутника С от главной звезды А, также должно подчиняться этому закону плотности, т. е., что плотность должна быть пропорциональна $\frac{1}{k^3}$. Допустив это, мы придем к выводу, что число тройных звезд, у которых k заключено в некотором интервале dk , будет пропорционально $\frac{4\pi k^2 dk}{k^3}$, т. е. пропорционально $\frac{dk}{k}$. Вследствие этого число троек, для которых k заключено между какими-нибудь двумя значениями k' и k'' , должно быть пропорционально $\log \frac{k''}{k'}$. Из табл. 1 видно, что для ближайших звезд число троек, у которых k заключено между 10 и 100 а. е., равно числу троек, для которых k заключено между 100 и 1000 а. е. Это можно рассматривать как подтверждение приведенного вывода из принятого нами закона распределения точек С вокруг точки А и тем самым, как косвенное подтверждение этого закона.

Однако закон распределения плотности вероятности $\frac{1}{k^3}$ может соблюдаться не везде, а только в некотором интервале. По определению систем обыкновенного типа мы должны иметь $k > k_0$, т. е. значения k имеют нижнюю границу. С другой стороны, тройные системы не могут быть сколь угодно широки, поскольку очень широкие системы при движении в Галактике должны быстро разрушаться под влиянием возмущений от проходящих звезд. Поэтому должна быть и некоторая эффективная верхняя граница для k . Мы обозначим ее через k_1 . Строго говоря, значение k_1 должно зависеть от значения длины АВ. Но мы примем для всех случаев одно значение k_1 , что не должно внести существенных ошибок в результат, поскольку, как мы увидим, зависимость этого результата от k_1 весьма слабая.

Теперь мы можем приступить к вычислению вероятности превращения тройной системы обыкновенного типа в результате проектирования в псевдотрапецию при сделанных предположениях. При этом мы будем принимать, что все возможные ориентировки кратных систем равно вероятны.

§ 3. Вероятность превращения

Итак, после совмещения звезд А тройных систем обыкновенного типа в начале координат и соответствующего изменения масштаба в каждой системе мы можем добиться того, что все спутники В расположатся на сфере с радиусом, равным единице. Спутники С расположатся между сферами с радиусами k_0 и k_1 , причем плотность их распределения в полости между этими сферами будет обратно пропорциональна k^3 , а вне этой полости будет равна нулю. При этом подразумевается также, что: 1) поверхностная плотность точек В на единичной сфере постоянна и не зависит от угловых координат, 2) плотность точек С также не зависит от угловых координат и 3) при задании точки В, т. е. при задании направления АВ, вектор АС может иметь с равной вероятностью всевозможные направления, т. е. если мы выберем тройки, у которых направление АВ лежит в некотором узком конусе, точки С все же расположатся вокруг А так, что их плотность не будет зависеть от направления и будет обратно пропорциональна k^3 .

Спроектируем теперь как распределение точек В, так и распределение точек С на какую-либо плоскость. Если N_0 есть поверхностная плотность точек В на единичной сфере, то плотность точек В в проекции на расстоянии r от центра будет равна:

$$N_B = \begin{cases} \frac{2N_0}{\sqrt{1-r^2}} & (r \leq 1) \\ 0 & (r > 1) \end{cases} \quad (1)$$

Если $n(r)$ есть объемная плотность точек С, то в проекции на расстоянии r от центра мы будем иметь поверхностную плотность:

$$N_C = 2 \int_r^{\infty} \frac{n(\rho) \rho d\rho}{\sqrt{\rho^2 - r^2}}, \quad (2)$$

которая не зависит от положения точек В в проекции.

Но мы видели выше, что

$$\begin{aligned} n(\rho) &= \frac{n_0}{\rho^3} \quad (k_0 < \rho < k_1), \\ n(\rho) &= 0 \quad (\rho < k_0 \text{ или } \rho > k_1). \end{aligned} \quad (3)$$

Интегрируя, мы находим:

$$N_C = \begin{cases} \frac{2n_0}{r^2} \left(\sqrt{1 - \frac{r^2}{k_1^2}} - \sqrt{1 - \frac{r^2}{k_0^2}} \right) & (r < k_0) \\ \frac{2n_0}{r^2} \sqrt{1 - \frac{r^2}{k_1^2}} & (k_0 < r < k_1) \\ 0 & (r > k_1). \end{cases} \quad (4)$$

Пусть теперь звезда В находится в проекции в одной из точек кольца, соответствующего интервалу расстояний от r до $r + dr$. Вероятность этого при распределении (1), очевидно, будет равна:

$$W_B(r) dr = \frac{r dr}{\sqrt{1 - r^2}}. \quad (5)$$

Тогда, для того чтобы система была псевдотрапецией, необходимо, чтобы было:

$$r_C < k_0 r_B.$$

А вероятность этого при данном r_B будет:

$$P(r_C < k_0 r_B) = \frac{\int_0^{k_0 r_B} N_C(r) r dr}{\int_0^\infty N_C(r) r dr}. \quad (6)$$

Полная вероятность того, что отношение проекций $\frac{AC}{AB}$ у случайно взятой тройной системы будет меньше k_0 , равна:

$$U = \int_0^1 W_B(r) P(r_C < k_0 r) dr$$

или, в силу (6),

$$U = \frac{\int_0^1 \frac{r dr}{\sqrt{1 - r^2}} \int_0^{k_0 r} N_C(\rho) \rho d\rho}{\int_0^\infty N_C(\rho) \rho d\rho}. \quad (7)$$

При вычислении числителя полученного выражения следует иметь в виду, что поскольку $r < 1$

$$\rho < k_0 r \leq k_0,$$

вследствие чего нужно будет использовать только первое из выражений (4) для $N(\rho)$. Итак,

$$\int_0^1 \frac{r dr}{\sqrt{1-r^2}} \int_0^{k_0 r} N_c(\rho) \rho d\rho = 2n_0 \int_0^1 \frac{r dr}{\sqrt{1-r^2}} \int_0^{k_0 r} \left(\sqrt{1 - \frac{\rho^2}{k_1^2}} - \sqrt{1 - \frac{\rho^2}{k_0^2}} \right) \frac{d\rho}{\rho}.$$

Интегрируя правую часть полученного выражения по частям и пренебрегая второй и высшими степенями отношения $\frac{k_0^2}{k_1^2}$ получаем:

$$\int_0^1 \frac{r dr}{\sqrt{1-r^2}} \int_0^{k_0 r} N_c(\rho) \rho d\rho = 2n_0 \left[\lg 2 - \frac{1}{2} \right] - \frac{n_0}{12} \frac{k_0^2}{k_1^2}. \quad (8)$$

Что касается знаменателя формулы (7), то он легко вычисляется, поскольку

$$2\pi \int_0^\infty N_c(\rho) \rho d\rho = \int_0^\infty n_c(\rho) 4\pi \rho^2 d\rho,$$

откуда, на основании (3), легко находим:

$$\int_0^\infty N_c(\rho) \rho d\rho = 2n_0 [\lg k_1 - \lg k_0]. \quad (9)$$

Внося (8) и (9) в (7), получаем:

$$U = \frac{\lg 2 - \frac{1}{2} - \frac{1}{24} \frac{k_0^2}{k_1^2}}{\lg k_1 - \lg k_0}. \quad (10)$$

Выражение U и дает нам искомую вероятность превращения тройной звезды обыкновенного типа в псевдотрапецию. Правда, оно страдает некоторой неточностью, проистекающей из-за того, что при интегрировании по формуле (7) всех элементарных вероятностей по случаям, когда у нас должна получиться псевдотрапеция, мы распространили интегрирование и на те случаи, когда проекция звезды С находится настолько близко к А или к В, что тройка должна наблюдаться как обычно-

венная система, вследствие того, что в этих случаях одно из расстояний (СА или СВ) будет очень мало по сравнению с АВ. Однако понятно, что сумма вероятностей подобных элементарных случаев очень мала по сравнению с вероятностью получения псевдотрапеции и прибавление этой суммы к искомой величине вероятности превращения внесет в результат лишь небольшую ошибку. Следует обратить внимание, что вычисляемое по формуле (10) значение U медленно меняется с изменением значения k_1 , и поэтому мало чувствительно к ошибкам в определении k_1 .

Если судить непосредственно по ближайшим тройным звездам, данные о которых приведены в табл. 1, то придется принять, что верхняя граница отношений k должна достигать нескольких тысяч. Однако, когда речь идет не о ближайших к нам тройных звездах, а о совокупности тройных звезд каталога Эйткена, то эта оценка значения k_1 теряет свою силу. Примем, прежде всего, во внимание, что мы учитываем лишь визуальные псевдотрапеции. Следовательно, спутник В должен быть визуально отделен от А. Для этого нужно, чтобы его линейное расстояние от А измерялось по меньшей мере сотнями астрономических единиц. При этих условиях оценка в 500 а. е. для среднего значения расстояния АВ не может считаться преувеличенной. Если пределом для расстояния АС является 10 000 а. е. или 20 000 а. е., то очевидно, что k_1 мы должны придать значение между $k_1=20$ и $k_1=40$. Мы примем $k_1=30$. Положив также $k_0=3$, мы получим $U=0.08$.

Таким образом, при проектировании около 8% обыкновенных тройных систем должно превратиться в псевдотрапеции.

Выше речь шла о кратных системах, наиболее часто встречающихся — о тройных звездах. Но совершенно очевидно, что в результате проектирования превращение систем обыкновенного типа в псевдотрапеции должно иметь место и в случае систем более высокой кратности. Так, для простоты возьмем четверные системы обыкновенного типа. Они могут быть двух родов: 1) две тесные пары АВ и CD отделены друг от друга расстоянием, во много раз большим, чем АВ или CD, 2) вокруг тесной пары АВ обращается далекий спутник С и вокруг тройки АВ+С обращается еще более далекий компонент D, причем $\frac{AC}{AB} > k_0$ и

$$\frac{AD}{AC} > k_0.$$

Структуру первого вида можно представить формулой АВ + CD, а структуру второго вида — формулой (АВ + С) + D.

В первом случае задача об образовании псевдотрапеций мало отличается от случая тройных звезд. Если в случае тройных звезд для получения псевдотрапеции звезда С должна спроектироваться на опреде-

ленную узкую область неба около АВ, то здесь, в случае четверки типа АВ + CD, пара CD должна спроектироваться на определенную узкую область около АВ. Поэтому разница в величине вероятностей превращения будет небольшая.

В случае же систем типа (АВ + С) + D вероятность превращения в псевдотрапецию сложится из двух вероятностей: вероятность проектирования С в узкую область вокруг АВ и вероятность проектирования D на область, окружающую тройку АВ + С. Очевидно, что в этом случае вероятность превращения будет почти в два раза больше, чем в случае тройных звезд, т. е. она должна быть порядка 16%.

Принимая во внимание сравнительную частоту четверных и тройных звезд и оценив грубо, какая доля четверных звезд обыкновенного типа относится ко второй из указанных выше категорий, а также учитывая возможное влияние систем высшей кратности, мы примем за средневзвешенное значение вероятности превращения кратной звезды обыкновенного типа в псевдотрапецию

$$P = 0.09.$$

§ 4. Кратные системы в каталоге Эйткена

Каталог Эйткена содержит значительное число кратных систем, которые могут быть отнесены к типу Трапеции. Однако среди них должно быть известное число оптических трапеций, т. е. групп, представляющих нам трапециями, в которых имеется такой оптический спутник, отбрасывание коего должно повести к исключению системы из числа трапеций, и некоторое число псевдотрапеций. Для того чтобы при подсчете числа трапеций по возможности избежать оптических систем, мы ограничили наше изучение теми системами каталога Эйткена, в которых расстояния слабых компонентов находятся в пределах, введенных нами в § 1. При таком условии главным искажающим фактором будут псевдотрапеции, хотя некоторое число оптических систем может все же остаться. Результаты подсчетов приведены в табл. 3 в отдельности для различных спектральных типов главных звезд кратных систем. В первом столбце даны интервалы спектральных типов, во втором столбце числа всех кратных систем, главные звезды которых принадлежат соответствующему интервалу спектральных типов, при условии, что расстояния компонентов находятся в пределах, указанных в § 1, в третьем столбце вычисленные на основании найденной выше вероятности теоретические числа псевдотрапеций, в предположении, что все наблюдаемые кратные являются системами обыкновенного типа и, наконец, в

четвертом столбце числа наблюдаемых трапеций, соответствующие данным интервалам спектральных типов.

Табл. 3 показывает, что для спектральных типов от А до К вычисленные количества псевдотрапеций почти совпадают, с точностью до случайных отклонений, с числами наблюдаемых трапеций. Небольшое превышение наблюдаемых трапеций над числом вычисленных псевдотрапеций для этого спектрального интервала может объясняться наличием небольшого числа оптических трапеций. Отсюда мы должны сделать важное заключение о том, что среди кратных звезд, охватываемых каталогом Эйткена, главные звезды которых относятся к типам от А до К, или вовсе нет реальных трапеций, или процент реальных трапеций

Т а б л и ц а 3

Спектры	Общее число кратных	Вычисленное количество псевдотрапеций	Количество наблюдаемых трапеций
О—В2	24	3	16
В3—В5+В	30	3	12
В8—В9	51	5	14
А	206	19	22
F	147	13	17
G	102	9	14
К	72	6	9
М	10	1	4
Неизвестный спектр	434	39	71

ничтожно мал. Из первых же трех строк той же таблицы мы прямо заключаем, что *среди кратных систем, главные звезды которых принадлежат интервалу типов О—В, имеется значительный процент реальных трапеций*, в частности, примерно половина кратных звезд, главные компоненты которых принадлежат спектральному интервалу О—В2, являются реальными трапециями.

Поскольку, согласно имеющимся данным, большинство звезд типа О—В2 входит в звездные ассоциации и эти звезды являются молодыми звездами, то имеющийся эмпирический материал прямо говорит о том, что реальные трапеции встречаются почти исключительно как группы, в которые входят молодые звезды.

Ряд систем типа Трапеции входит в состав О-скоплений, которые в свою очередь являются ядрами звездных ассоциаций. Как установил Маркарян, наличие кратных систем типа Трапеции является характерным признаком значительной части О-скоплений. Многие О-скопления содержат в себе по две, а иногда и по три системы типа Трапеции. Сов-

сем недавно результаты Маркаряна были вновь подтверждены в работе Шарплесса.

Наличие систем типа Трапеции в О-скоплениях, их роль в строении скоплений и, наконец, их роль в качестве классификационного признака для скоплений типа О выявлены с особой четкостью в «Атласе Открытых Звездных Скоплений» Маркаряна, изданном Бюраканской обсерваторией в 1952 году. Поскольку О-скопления являются молодыми образованиями, мы вновь имеем свидетельство в пользу молодости систем типа Трапеции.

§ 5. Неустойчивость кратных систем типа Трапеции

Тот факт, что подавляющее большинство кратных систем имеет строение, дающее основание отнести их к системам обыкновенного типа, уже давно привлек к себе внимание астрономов. Как было уже указано, движения в такой системе сводятся приблизительно к совокупности кеплеровских движений. Совершенно очевидно, что эти движения могут продолжаться чрезвычайно долго и такие системы являются в высокой степени устойчивыми. В этом отношении кратные системы обыкновенного типа составляют контраст с обычными открытыми скоплениями. Как было показано нами, если даже принять, что открытые скопления находятся в стационарном состоянии в поле регулярных сил скопления, все же, при сближениях отдельных звезд между собой, будут происходить процессы обмена кинетическими энергиями, в результате чего время от времени в скоплении будут появляться звезды со скоростями, превосходящими критическую скорость. Эти звезды будут покидать скопление и оно с течением времени должно разрушаться. В кратных системах обыкновенного типа такие процессы обмена кинетическими энергиями не происходят, так как самоустройство кратной звезды такого типа исключает возможность случайных сближений, при которых происходит этот обмен.

Совершенно иное положение мы должны иметь в случае кратных систем типа Трапеции. Такие системы весьма похожи на обычные открытые скопления и отличаются от них лишь тем, что число членов в каждой трапеции мало. Между тем время распада скопления зависит именно от числа его членов. Чем меньше это число, тем короче время распада. Малые линейные размеры трапеций, по сравнению со скоплениями, также обуславливают уменьшение времени распада.

Формула для времени распада звездных скоплений в предельном случае, когда число звезд равно нескольким единицам, а радиус скопления порядка $10\,000$ а. е., приводит к промежутку времени порядка $2 \cdot 10^6$

лет. Это означает, что трапеция успеет распасться, пока каждая из звезд в ней успеет совершить всего несколько оборотов.

Этот результат физически понятен. За время нескольких оборотов каждая рассматриваемая звезда имеет значительные шансы сблизиться настолько тесно с какой-либо другой звездой, что их энергия взаимодействия превзойдет энергию взаимодействия рассматриваемой звезды с системой в целом, которая имеет полную массу, лишь в несколько раз превосходящую массу отдельной звезды. В результате рассматриваемая звезда имеет большие шансы быть выброшенной.

Итак, все эти рассуждения приводят к выводу о том, что продолжительность жизни кратных систем типа Трапеции не может быть свыше двух миллионов лет и это подтверждает вывод об их крайней молодости.

Заметим здесь, что сказанное выше не отвергает в отдельных специальных случаях возможности некоторых периодических движений, при которых кратная система большую часть времени имеет конфигурацию типа Трапеции. Однако подобные периодические движения требуют выполнения определенных специальных начальных условий, что мало вероятно. Поэтому весьма мало вероятно и то, что реальные трапеции, встречающиеся в Галактике, совершают такие периодические движения и являются устойчивыми системами.

При выводе формулы для времени распада открытых скоплений, которая выше была применена к трапециям, предполагается, что полная энергия скопления отрицательна. Как мы увидим в следующем параграфе, вопрос о знаке полной энергии систем типа Трапеции заслуживает особого внимания и не исключена возможность, что многие трапеции обладают положительной полной энергией. В таком случае получается иной результат для времени жизни трапеции.

§ 6. Полная энергия систем типа Трапеции

Непосредственное изучение движений в двойных звездах показывает, что эти движения совершаются по эллиптическим орбитам. Это означает, что полная энергия этих систем отрицательна. Однако, если бы мы даже вовсе не наблюдали непосредственно эллиптических движений в двойных звездах, сам факт существования огромного множества двойных звезд в Галактике в предположении о применимости закона Ньютона доказывал бы отрицательность полной энергии подавляющего большинства из них.

В самом деле, допустим на минуту, что значительная часть двойных звезд в Галактике имеет положительные энергии. Поскольку случаи близкого прохождения по гиперболическим орбитам друг около друга

ранее независимых звезд должны быть очень редки, мы их можем вовсе не рассматривать. В таком случае мы должны были бы признать, что в Галактике в данный момент имеются миллиарды пар, которые только что начали удаляться друг от друга. Но это противоречит всем нашим представлениям о сроках звездной эволюции. Поэтому ясно, что пар с положительной энергией может быть лишь в ничтожном количестве.

Однако совершенно иное положение мы имеем в случае систем типа Трапеции. Орбитальные движения в них не изучены и мы не можем поэтому основывать на них какие-либо выводы о знаке полной энергии этих систем. Считать, что допущение о положительности полной энергии у части этих систем противоречит представлению об их возрасте, мы также не можем. Мы видели, что эти системы являются молодыми. Поэтому представление об обязательной отрицательности энергии всех или подавляющего большинства систем типа Трапеции было бы предвзятым представлением, основанным на неправильной аналогии.

С другой стороны очевидно, что кратные системы типа Трапеции являются группами совместно возникших звезд. При возникновении группы каждая звезда должна была получить некоторую скорость. Естественно ожидать, что их скорости в разных случаях могли быть разной величины и в некоторых случаях быть настолько велики, что полная энергия группы могла оказаться положительной. Вместе с тем нам известно, что в системах, которые находятся в тесном родстве с трапециями, мы наблюдаем положительность полной энергии. Мы имеем в виду те О-ассоциации и О-скопления, в которых происходит быстрое расширение. Естественно ожидать, что и среди систем типа Трапеции многие обладают полной энергией положительного знака.

Если это так, то возраст этих трапеций должен равняться промежутку времени, необходимому для того, чтобы звезды трапеции, выйдя из объема, где они возникли, со скоростями, не меньшими, чем те скорости, которые у них в данный момент имеются (и которые превосходят критические скорости), могли бы достичь наблюдаемых в настоящий момент положений. Расчет показывает, что в таком случае возраст многих трапеций должен оцениваться цифрой порядка 10^5 лет и во всяком случае не выше 10^6 лет. Согласно Паренаго, наш вывод о положительности полных энергий, по крайней мере части трапеций, подтверждается данными о движениях в самой Трапеции Ориона (δ^1 Ориона).

Однако следует отметить, что для большинства трапеций продолжительность промежутка времени, за который имеются наблюдения, и точность самих наблюдений недостаточны для того, чтобы вывести скорости относительных движений и тем самым сделать заключение о знаке полной энергии. Но, поскольку в данном случае речь идет лишь об определении относительных скоростей для данного момента времени, а не

о получении траекторий, то задачу определения знака энергии для многих трапеций следует считать вполне разрешимой. К сожалению, эти системы, являющиеся обычно широкими кратными, до сих пор не привлекали должного внимания наблюдателей. Теперь, когда становится все более ясным их гигантское значение для проблемы возникновения звезд, надо надеяться, что они будут наблюдаться более усердно. Имея это в виду, мы даем в конце статьи список систем типа Трапеции.

§ 7. О развитии кратных систем типа Трапеции

В предыдущем параграфе мы видели, что у нас нет никаких данных для того, чтобы отвергнуть предположение о положительном знаке полных энергий кратных систем типа Трапеции. Вместе с тем, наблюдения не дают еще достаточно данных для прямого и окончательного решения вопроса о знаке полной энергии. Однако можно попытаться представить себе картину эволюции системы типа Трапеции при различных допущениях о знаке и сравнить выводы с наблюдениями.

В случае, если полная энергия Трапеции в момент ее возникновения была отрицательна, то развитие ее должно было бы идти путем последовательного выбрасывания из нее отдельных звезд, а иногда и звездных пар и вообще систем обыкновенного типа. Поэтому через некоторое время мы должны были бы наблюдать около трапеции отдельные звезды того же возраста, выброшенные из нее в различное время. В случае же, если полная энергия положительна и звезды расходятся из центра с некоторыми скоростями, с самого начала превосходящими критические скорости, трапеция должна расширяться как целое до тех пор, пока размеры системы не станут велики по сравнению с линейными размерами других широких кратных систем. Таким образом, в первом случае близости Трапеции следует ожидать присутствия звезд той же природы и того же возраста, что и члены трапеции. Во втором случае этого не должно быть.

Нам кажется, что наблюдения, по крайней мере в некоторых случаях, говорят определенным образом в пользу второго варианта. Правда, как известно, системы типа Трапеции часто входят в состав скоплений, поэтому они бывают окружены менее плотными группами звезд. Однако строение этих групп никоим образом не говорит в пользу того, что они могут являться результатом последовательного выброса звезд из кратной системы с отрицательной энергией вследствие действия механизма звездных сближений.

В этом отношении интересным примером является скопление NGC 6823, которое, как показал Маркарян, имеет ядро, представляющее

собой цепочку звезд типов O и B0. По Шарплессу, каждая из этих ярких звезд является компактной трапецией. Однако окружающее скопление состоит из слабых звезд и, при этом, не имеет сгущения к центру. Между тем при образовании скопления в результате распада системы с отрицательной энергией мы должны были бы иметь в скоплении также отдельные яркие звезды и сгущение к центру.

Несколько иное положение дел мы имеем в Трапеции Ориона, которая погружена в окружающее ее скопление слабых звезд. Многие из членов этого скопления являются слабыми карликами. Хотя плотность скопления убывает с увеличением расстояния от Трапеции, однако скопление содержит так много членов, что оно не могло образоваться из звезд, принадлежавших ранее Трапеции. Впрочем, это вовсе не является основанием для отрицания генетической связи между скоплением и Трапецией. Эта связь несомненна.

На основании сказанного мы считаем в высшей степени вероятным, что значительная часть, если не большинство, трапеций имеет положительные полные энергии.

В пользу этого вывода говорят приведенные в следующем параграфе факты, относящиеся к некоторым очень широким трапециям.

§ 8. Некоторые весьма широкие системы

Если верна развитая в настоящей статье точка зрения на трапеции, как распадающиеся группы, то следует думать, что изучение весьма широких систем этого типа должно привести нас к интересным выводам о дальнейшем развитии составляющих систем типа Трапеции. Конечно, в этом направлении трудно идти слишком далеко, так как, с одной стороны, наши сведения об относительных собственных движениях весьма скудны и, с другой стороны, мешают звезды фона. Но все же, если в большинстве систем списка, приложенного к настоящей статье, взаимные расстояния составляющих заключены между 0.02 и 0.2 *парсека*, можно попытаться отыскать отдельные трапеции, в которых взаимные расстояния составляющих достигают от 0.25 до 1 *парсека*. Просмотр фотографий областей неба, в которых расположены некоторые звездные ассоциации, приводит к результатам, как будто подтверждающим наличие таких широких трапеций. Возьмем для примера область ассоциации Лебедя неподалеку от скопления NGC 6871. Обзор фотографии этой области, полученной в Бюракане на камере Шмидта, позволил сразу установить наличие, по крайней мере, пяти таких групп, которые можно считать широкими трапециями, не считая группы, входящие в само скопление NGC 6871. Спектральные типы и звездные величины звезд указан-

ной области определены Эньером [10]. Оказалось, что во всех пяти широких системах главные звезды имеют спектры типа В. В нижеследующей таблице даются номера этих главных звезд по списку Эньера и координаты. Во втором, третьем и четвертом столбцах таблицы даны звездная величина главной звезды, ее спектральный тип и число составляющих, входящих в систему. В седьмом столбце дано приблизительное значение наибольшего из расстояний между компонентами данной трапеции, выраженное в секундах дуги, а в восьмом, — значение того же расстояния, выраженное в астрономических единицах, причем расстояние ассоциации Лебеда, в которой находятся эти трапеции, принято равным 1500 парсек.

Тот факт, что главными звездами рассматриваемой трапеции являются уже не представители классов О или В0, а представители более поздних подразделений типа В, говорит о том, что средний возраст этих трапеций гораздо выше среднего возраста систем нашего основного списка. Это свидетельствует в пользу того, что они образовались из более тесных трапеций. С другой стороны, по форме своей они напоминают обычные более тесные трапеции. Особенно это относится к системам

Таблица 4

Звезда	m_{pg}	S_p	n	α (1950)	δ (1950)	d_{max}	D_{max}	Примечание
А 34°140	10.00	B5	4	20 ^h 03 ^m .8	34°10'	52	78.000	
А 35 190	9.56	B2	4	05.0	35 09	93	140.000	
А 35 240	8.22	B2	5	07.1	35 22	55	83.000	BD+35°3987
А 35 254		B2	4	07.4	35 20	41	61.000	
А 35 283	8.67	B3	6	08.0	35 43	78	117.000	BD+35°4004

А 34°140 и А 35°190, весьма похожим на Трапецию Ориона. Однако они в линейной мере в десять раз шире последней. В случае, если расширение трапеции обычно происходит только в результате распада, вызванного взаимодействиями звезд при сближениях, то это расширение должно было бы с течением времени сопровождаться изменением формы. Приведенные же, правда весьма скудные, данные скорее говорят о сохранении формы, что может быть объяснено только положительностью полной энергии, когда отдельные составляющие имеют достаточные кинетические энергии, чтобы удалиться от места своего возникновения почти прямолинейно.

§ 9. Наиболее тесные системы типа Трапедии

Для выяснения эволюционной роли систем типа Трапедии Ориона особый интерес должны представлять наиболее тесные системы этого рода. Прежде всего встает вопрос — не можем ли мы наблюдать эти системы на самой ранней стадии их возникновения, когда расстояние между компонентами очень мало, т. е. когда расширение только что началось. В частности, не могут ли некоторые звезды типа О или В0 весьма высокой светимости быть на самом деле весьма тесными группами звезд того же типа, не разделяемыми визуально. Этот вопрос затронут в работе Шарплесса. Предполагая расстояние до звезды типа О или В0 равным 1000 *парсек*, мы должны принять, что в этом случае расстояния между компонентами должны быть меньше 300 а. е. При положительности энергии скорости звезд должны быть при этом не меньше, чем 5 *км/сек*. В таком случае такая система может продолжать оставаться визуально неразделенной не более 300 лет. Поэтому нам кажется, что из сотен звезд типа О в лучшем случае только одна или две могут быть застигнуты нами в тот период, когда они представляют собой «будущие визуальные трапедии». Тем не менее, надо подчеркнуть, что, поскольку более тесные визуальные трапедии, вероятно, являются наиболее молодыми системами, их изучение заслуживает специального внимания.

Говоря о тесных визуальных трапедиях, мы должны иметь в виду группы, в которых взаимные расстояния не превосходят трех-четыре тысяч а. е. При расстояниях наблюдаемых нами О-ассоциаций от нас в среднем порядка тысячи парсек это означает, что мы должны уделить особое внимание системам, в которых, по крайней мере, три компонента имеют взаимные расстояния одинакового порядка и притом не более 4". Можно отметить, по крайней мере, шесть таких систем, удовлетворяющих тому требованию, чтобы видимые яркости компонентов были столь велики, что вероятность оптического характера этих трапедий совершенно ничтожна. Такими системами являются ADS 719, ADS 6033, ADS 11344, ADS 364, ADS 4164, ADS 14010. Главная звезда первой из этих систем относится к спектральному классу О6. Главная звезда второй системы известна как переменная VY CMa и относится к спектральному классу Ма. Наибольшее расстояние между компонентами в ней равно 2".9. Поскольку неправильные переменные поздних типов находятся в известном родстве со звездами ранних типов, не исключена возможность, что это реальная трапедия. Более того, обращает на себя внимание, что из десяти кратных звезд типа М четыре представляются трапедиями. Поэтому трапедии могут доставить нам новые данные о характере связи между горячими и холодными гигантами. Главная звезда третьей из перечисленных тесных систем относится к типу G5 и поэтому можно пред-

полагать, что эта система является псевдотрапецией. Наконец, спектральные типы звезд остальных трех кратных систем неизвестны. Это показывает, что данных для суждения о наиболее тесных системах очень мало и что крайне желательно всестороннее их исследование. Небольшая численность столь тесных систем находится в полном согласии с развитыми выше представлениями о неустойчивости трапеций вообще.

§ 10. Каталог Трапеций

Приложенный к настоящей статье каталог трапеций составлен на основании данных, собранных из каталога Эйткена, а также на основании данных Маркаряна и Шарплесса о кратных системах в открытых скоплениях и газовых туманностях. Этот каталог не является полным даже в отношении звезд, содержащихся у Эйткена. Наша цель заключалась в перечислении тех Трапеций, которые представляют первоочередной интерес. В первом столбце таблицы дан номер по порядку, во втором — номер по Эйткену или по BD, в третьем и четвертом даны спектральный тип и звездная величина главной звезды, а в пятом — расстояния между компонентами.

Случаи, когда главная звезда принадлежит к одному из типов А, F, G или K, исключены из таблицы, поскольку эти системы в своем большинстве являются псевдотрапециями. Оставлена лишь интересная система ADS 11344 с главной звездой типа G. По возможности точные и частые наблюдения кратных настоящего списка нам кажутся чрезвычайно важными и чем большим количеством наблюдателей они будут промерены, тем лучше.

Бюраканская астрофизическая обсерватория
Август, 1954

ЛИТЕРАТУРА

1. Амбарцумян и Маркарян, Сообщения Бюраканской обсерватории, вып. II, 1949.
2. Маркарян, Сообщения Бюраканской обсерватории, вып. V, 1950.
3. Маркарян, Сообщения Бюраканской обсерватории, вып. IX, 1951.
4. Амбарцумян, ДАН АрмССР, **13**, 129, 1951.
5. Амбарцумян, ДАН АрмССР, **13**, 97, 1951.
6. Паренаго, Труды второго совещания по вопросам космогонии, стр. 345, Москва, 1953.
7. Шарплесс, Ар. Ж. **119**, 334, 1954.
8. Койпер, Ар. Ж. **95**, 201, 1942.
9. Амбарцумян, Астр. ж. **14**, 207, 1937.
10. Эньер, Ар. Ж. **118**, 77, 1953.

СПИСОК КРАТНЫХ СИСТЕМ ТИПА ТРАПЕЦИИ

№ п/п	ADS	Sp	m _A	Позиционные углы и расстояния			
				AB	AC	AD	
1	202		9 ^m 0	260° 7"	70° 12"		
2	307	B3	8.0	82 9	55 25	80° 47"	
3	364		9.3	132 1.5	183 1.6		BC 244° 1."4
4	423		8.0	350 5	336 47	147 50	
5	719	O6	8.1	82 1.4	136 3.8	194 9	
6	984		9.5	220 9	10 12		
7	1209	B3	7.3	142 14			BC 150 14
8	1237	B0	9.9	276 10	30 14		CD 118 4 DE 23 15 EF 35 14
9	1693		var	30 8	200 14	285 24	
10	1823		9.4	163 7	24 15		
11	1869		9.5	143 4	44 4		
12	1877	B	8.0	104 15			A'B' 226 17 AA' 262 39
13	1920	O5f	7.8	95 10	268 15	344 24	
14	2135	B8	8.0	288 11	21 25	66 34	
15	2159	B8	3.7	277 25	213 31		
16	2161	B0	7.1	93 2	297 14	263 15	AE 320 16 AF 74 17
17	2165	O8	8.7	286 0.2	17 12	10 20	AE 137 24
18	BD+60°578	O7	7.9	3 11	331 13	27 23	AE 51 26 AF 152 27
19	2780		9.4	317 6	191 13		
20	2843	B1	2.9	208 13	287 33		
21	2984	B0	7.0	308 18			BE 331 20 BD 84 15
22	3195		8.9	150 11	148 27		
23	3579	B8	6.0	305 39	89 54		CD 281 05
24	3684	B9	7.8	304 19	63 26		
25	3940	B3	8.2	68 17	154 49		
26	3943	O5	9.0	113 10	333 12	204 15	AE 119 23
27	4053		8.5	221 1.1	103 4	108 12	AE 132 18 AF 200 28
28	4112		9.5	239 7	310 10		BD 325 2
29	4164		9.6	234 2.2	210 3.6		
30	4186		6.8	32 9	131 13	96 22	

№ п/п	ADS	Sp	m _A	Позиционные углы и расстояния			
				AB	AC	AD	
31	4241	B0	4 ^m .0	294° 0.3"	236° 11"	84° 13'	
32	4728	B2	7.3	110 2.6	296 14	121 28	AE 3° 43"
33	4884		9.5	180 6	307 13		
34	4962	B8	7.8	258 60			BC 87 15 CE 325 42
35	5008		8.5	319 7	322 15		
36	5322	O7	4.8	212 3	14 17	308 41	
37	5682		9.2	152 14			BC 245 8
38	5685	B3	9.3	229 3	254 7	2 9	
39	5735	B9	8.4	171 7	358 15		
40	5977	O9III	4.5	90 8	79 15		
41	6033	Ma	7.7	171 0.5	292 2.4	353 2.9	
42	6205	B8	4.7	156 38			BC 130 42
43	6216	B9	7.2	304 7	133 18	99 64	AE 238 72 AG 1 84
44	6366	B9	8.0	9 18	88 26		
45	7372		9.3	188 2	248 3.4		Bb 188 2.7
46	7474		9.0	123 7	95 11		CD 137 21
47	10489		9.7	269 9	64 11		
48	10529		9.8	127 7	323 7		
49	10637		9.3	286 13			BC 192 6
50	10841		10.6	227 2.5	347 5		
51	10991	O8	8.0	22 5	212 11		CD 277 2 CE 191 6
52	11136	B	9.5	279 5	82 13		
53	11168	B3	7.5	122 7.5	238 13		
54	11169	B8p	4.0	260 17	119 25	312 47	AE 115 51
55	11179		8.5	100 31	161 12		
56	11193	B0	8.2	359 18	87 31		Aa 198 12 Ab 67 22 Bc 323 5
57	BD—12°4980	O8f	7.3	189 16	257 18	213 19	AE 19 30 AF 11 38
58	11263		9.6	314 0.7	262 32		CD 203 15
59	11344	G5	8.2	292 0.3	21 0.7		BC 217 0.5
60	11421		8.5	319 12	151 25		

№ п/п	ADS	Sp	m _A	Позиционные углы и расстояния			AD	
				AB	AC	AD		
61	12092		9 ^m 5	153° 8"	232° 9"			BD 72° 6"
62	12100		10.5	174 5	245 5			
63	12403		10.5	167 15				BC 111 12 Aa 156 5
64	BD—22 3782	O	8.8	248 8	303 10	341° 18"		AE 307 18
65	13038	A5	7.0	308 12	182 12			
66	13117	B9	6.6	22 10	174 16			
67	13292	B2	8.8	100 17	164 12	135 24		Aa 220 10
68	13312	O5f	7.2	175 2	328 43	172 29		
69	13368	B	9.0	288 12		79 12		BC 163 4 AE 318 15
70	13374	WN5+ +O9, 5III	7.0	64 6	28 10	301 11		AE 108 28 AF 29 36
71	13376	B0+B5n	7.6	126 9	297 11	236 11		
72	13610	Ma	7.5	82 33		258 32		BC 182 4 AE 75 38
73	13626	B0.5 IV	8.0	103 19				BC 49 18 Aa 156 4 Ab 158 9 Ac 331 19
74	13943		9.6	264 7				BC 196 5
75	13963		9.0	8 6	356 11			
76	14000	O6f	9.0	204 9	51 18			
77	14010		8.7	250 2.3	268 6.2	196 20		AE 57 21
78	14071		9.9	161 4	228 8	103 28		
79	14330		8.7	354 6	54 6			BC 117 6
80	14338		8.7	245 10	141 18			
81	14438		9.0	280 6	132 10			
82	14526	B3ne	4.9	353 20	141 27	220 38		
83	14545		9.2	22 5				Aa 270 3.7 Bb 24 2.4
84	14825		9.3	203 5	282 9			
85	14831	B3ne	4.6	220 15	180 22			

№ п/п	ADS	Sp	m _A	Позиционные углы и расстояния			
				AB	AC	AD	
86	14885	Mb	8 ^m 5	202° 15"	197° 21"		
87	14966		9.5	195 47			BC 50° 5" CD 108 4
88	14969	B0	6.1	29 34	98 54		
89	15014		9.2	157 14	14 15		Aa 5 6
90	15184	O6	5.8	323 1.5	121 12	339 20	
91	15220	Mc	var	224 11	29 19		
92	15260		8.8	53 0.9			BC 121 0.34
93	15469		9.4	9 5	158 11		
94	15561		8.7	78 7	311 21	34 20	Ab 131 16 AE 66 12
95	15664		9.5	193 6	82 10		
96	15679	B9	6.8	110 27			BC 165 23
97	15695		8.9	91 9	119 14		
98	15713		9.0	177 6			BC 256 3 BD 175 14
99	15789		9.0	138 12	15 16	177 16	CE 280 5
100	15834		9.5	91 2	114 12	24 14	aE 80 16 af 73 20
101	15847	B5	5.7	19 6	224 12		
102	16095	B1Vne+ +B2V	6.0	186 22		145 81	BC 155 28 Cc 254 1
103	16474	B9	6.6	51 21	260 57		
104	16795	B3	5.0	344 1	269 76		CD 223 1.4 AE 115 43 AF 338 69 AG 348 67
105	16953		9.5	247 14	282 16	15 70	DE 326 5
106	17093		8.6	88 31			Aa 11 25 BC 311 5
107	17124		9.4	46 6	181 9		
108	17171	O8	9.1	290 2	265 10	313 14	AE 135 18

ЗВЕЗДНЫЕ СИСТЕМЫ С ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ПОЛНОЙ ЭНЕРГИЕЙ*

Содержание двух специальных университетских лекций, прочитанных в Университетском колледже, Лондон, 10 и 11 ноября 1954 г.

В начале моих лекций я хочу выразить мою искреннюю благодарность Совету Лондонского университета за их любезное приглашение для чтения этих лекций.

Я намерен представить некоторые результаты исследований звездных систем нового типа, проводимых нами в последние годы в Бюраканской обсерватории. Одной из основных особенностей этих систем является их неустойчивость и даже быстрое расширение в пространстве. К этому типу систем принадлежат: а) звездные ассоциации, б) некоторое количество классических открытых скоплений и в) кратные звезды особого рода — типа Трапедии. Расширение этих систем возможно только потому, что полная кинетическая энергия системы значительно больше, чем абсолютная величина энергии гравитационного взаимодействия. С точки зрения звездной динамики это является очень важным фактом.

Одним из основных результатов классической астрономии явилось доказательство того, что компоненты каждой двойной системы взаимодействуют согласно закону тяготения Ньютона. Если полная энергия двойной отрицательна, то орбита пары является эллипсом; если положительна, то гиперболой. Известно большое количество физических (не оптических) пар, которые должны иметь эллиптические орбиты. Таким образом, полные энергии подавляющего большинства двойных должны быть отрицательными. Это правильно для двойных вообще, но могут быть специальные случаи, где это не имеет места. Если нам сказано об определенных парах звезд, что они являются не только двойными, но также и очень молодыми объектами, то мы, не изучив их орбит, не можем утверждать, что большинство пар этого типа имеет отрицательные пол-

* Stellar Systems of Positive Total Energy. Observatory, **75**, 72, 1955.

ные энергии. Относительное движение спутника по гиперболической или линейной орбите может быть характеристикой начальной короткой фазы в жизни звезды. Возьмем для примера двойную γ Паруса, звезду типа Вольфа-Райе со спутником типа В3 на расстоянии $41''$. Звезды Вольфа-Райе считаются молодыми объектами. Отсюда следует, что мы не можем заранее утверждать, что движение должно быть в этом случае эллиптическим. Результаты измерений говорят скорее о положительной полной энергии.

Эти замечания относительно кратных звезд остаются в силе и для звездных скоплений. Существование большого числа звездных скоплений в пределах Галактики всегда рассматривалось как доказательство стабильности этих систем. Если точно принять во внимание взаимодействие между звездами, то выяснится, что состояние подлинного статистического равновесия не возможно для скоплений, содержащих ограниченное количество звезд. Однако могут пройти сотни миллионов лет, прежде чем скопление начнет распадаться вследствие ухода звезд, обладавших скоростями, превышающими скорости разбегания. Полная энергия скопления в установившемся (стационарном) состоянии всегда отрицательна и имеет ту же числовую величину, что и кинетическая энергия. При допущении установившегося состояния мы можем вычислить среднеквадратичную скорость звезд в скоплении, оценивая их массы и средние расстояния между ними. Для некоторых скоплений, таких как Плеяды, Гиады и др., корень из среднеквадратичной скорости, вычисленный таким способом, около 1 км/сек . Наблюдательные данные очень скудны, но наблюдаемые скорости не превышают 2 км/сек и большинство порядка 1 км/сек . Существует по крайней мере качественное согласие между теорией и наблюдениями, и мы приходим к заключению, что большинство звездных скоплений находится в установившемся состоянии.

Однако допущение устойчивого состояния неприемлемо для некоторых классов открытых скоплений. Рассмотрим детально скопления типа О по классификации Маркаряна, обсужденной в Сообщениях Бюраканской обсерватории и иллюстрированной в нашем Атласе скоплений. О-скопления содержат О- или В0-звезды как наиболее ранние типы, представленные в скоплении. Из 171 открытого скопления, типы которых были определены, 54 принадлежат к типу О. Многие из этих скоплений входят в О-ассоциации. Это говорит о том, что скопления должны быть молодыми системами, поскольку считается, что возраст ассоциаций не превышает 10^7 лет. Во всяком случае, О-скопления должны рассматриваться как системы, которые не могут долго находиться в их нынешнем состоянии, так как возраст О- или В0-звезд не может превышать 10^7 лет. О-скопления являются бедными объектами, содержащими сравнительно

мало звезд. В-скопления и А-скопления, которые содержат В- или А-звезды, как наиболее ранние типы, значительно богаче звездами. Если скопление стационарно, то количество его членов не может возрастать. О-скопления, наблюдаемые нами в настоящее время, никогда не превратятся в скопления, называемые нами В- или А-скоплениями. Мы не обнаруживаем сколько-нибудь заметного числа таких скоплений, которые могли развиться из О-скоплений. Этот факт может быть объяснен тем, что в течение времени, за которое О- или В0-звезда преобразуется в некоторый другой спектральный тип, скопление само разрушается. Мы должны допустить, что большинство О-скоплений имеет положительную полную энергию. Они должны рассеяться в пространстве в течение нескольких миллионов лет. Большинство О-скоплений находится от нас настолько далеко, что мы не можем определить их внутренних движений. Однако, внутренние движения скопления IC 2602 в Киле были измерены и подтвердили предсказание о положительной полной энергии. Звезды движутся по направлениям наружу от центра скопления со скоростями до 7 км/сек . В противоположность этим результатам, касающимся О-скоплений, большинство В- и А-скоплений (Плеяды, Гиады) имеют отрицательную полную энергию.

Рассмотрим О-скопление, которое расширяется со скоростью около 10 км/сек . Кинетическая энергия такого скопления во много раз больше абсолютной величины потенциальной энергии. При этих условиях взаимодействием между звездами можно пренебречь. В течение около миллиона лет диаметр скопления превысит двадцать парсек. Большинство известных скоплений имеет диаметры менее 10 парсек . Это из-за того, что скопления с большими диаметрами нелегко обнаружить на общем звездном фоне. Они могут быть обнаружены только при детальном изучении распределения и движений О- и В-звезд. Недавняя работа показала, что имеется много протяженных концентраций О- и В-звезд в Галактике и они были названы *звездными ассоциациями*. Если О- или В0-звезда присутствует в ассоциации, то последняя называется О-ассоциацией. Кажется вероятным, что за 10^6 лет О-скопление превращается в О-ассоциацию, хотя не все О-ассоциации неизбежно возникли из О-скоплений. Блау исследовал собственные движения в ассоциации вокруг ζ Персея. Он нашел убедительное доказательство расширения, подтвердив, что звездные ассоциации являются системами с положительной полной энергией. Миллион лет назад ассоциация ζ Персея была очень сходна по размерам и форме с IC 2602 в настоящем его виде. Многие О-ассоциации содержат в качестве составных частей звездные скопления. Так, ассоциация ζ Персея содержит скопление вблизи IC 348. Кажется вероятным, что развитие ассоциации включает в себе как расширение, так и образование одного или более открытых скоплений.

В скоплениях и ассоциациях мы имеем действие как внутренних притяжений, так и возмущающих приливных сил Галактики. Последние деформируют и стремятся разрушить звездные системы. В обычном скоплении звездная плотность сравнительно высока, так что приливные силы малы по сравнению с внутренними притяжениями, хотя последние могут быть незначительными для предотвращения расширения скопления. В ассоциации взаимные притяжения малы по сравнению с приливными силами. Последние возрастают с расширением ассоциации. После определенного интервала времени изменение в скорости, обусловленное приливными силами, становится сравнимым с начальной скоростью расширения. Простое вычисление показывает, что требуемый интервал времени не зависит от начальной скорости расширения и в окрестностях Солнца в Галактике имеет величину около 15 миллионов лет. Ассоциация, которая вначале была сферической, за это время становится заметно деформированной и со временем деформация продолжает возрастать. Сферическая ассоциация молодая. Ассоциация, которая растянута параллельно галактическому экватору, могла быть деформирована приливным воздействием. В некоторых случаях возможно альтернативное объяснение. Копылов показал, что в ассоциации Скорпиона, содержащем скопление NGC 6231, звезды расходятся из двух центров. Поэтому уже на начальной стадии эта ассоциация должна иметь вытянутую форму. Если мы наблюдаем почти сферическую ассоциацию, оцениваем ее расстояние и отсюда ее диаметр и допускаем, что ее возраст менее 15 миллионов лет, то мы можем вывести нижний предел скорости расширения ассоциации. Диаметр ассоциации Персея вокруг Двойного Скопления мы оцениваем в 180 *парсек*, что соответствует скорости расширения по крайней мере 6 *км/сек*. Из анализа собственных движений несомненно известны четыре расширяющиеся ассоциации:

Ассоциация	Автор	Скорость расширения
Персей II	Блау (1951)	11 <i>км/сек</i>
Цефей II	Маркарян (1952)	8 "
Ящерица	Блау и Морган (1952)	8 "
Скорпион	Копылов (1953)	16 "

Дальнейшее исследование движений в O-ассоциациях может открыть новые и интересные особенности. Рассмотрим большую ассоциацию Ориона, которая включает туманность Ориона, звезды ранних типов близ туманности, Трапецию, Пояс Ориона и другие звезды. Это одна из ближайших ассоциаций, на расстоянии около 500 *парсек*, но до сих пор для нее не удалось получить скорости общего расширения. Это означает, что скорости расширения не превышают 5 *км/сек*. Однако Блау и

Морган показали, что две отдельные звезды АЕ Возничего (O9) и μ Голубя (B0), которые очень удалены от ассоциации Ориона и находятся на противоположных сторонах последней, удаляются от нее с большими скоростями. Обе звезды имеют большие собственные движения. Если вычислить их движение в прошлом в течение $4 \cdot 10^6$ лет, то мы найдем, что эти звезды одновременно вышли в разных направлениях из небольшого объема, расположенного внутри ассоциации Ориона у туманности Ориона. Количество звезд ранних типов с высокими скоростями столь мало, что это совпадение не могло быть случайностью. Мы должны допустить, что обе звезды начали движение из одной и той же области пространства и что противоположность направлений скоростей этих звезд обусловлена законом сохранения момента. Это также наводит на мысль, что все звезды ассоциации не возникают одновременно, и что процесс формирования звезд в пределах ассоциации происходит в малых группах.

Ассоциация Цефей II занимает поверхность порядка одной тысячной небесной сферы между галактическими долготами 66 и 73° и галактическими широтами $+2$ и $+8^\circ$. Эта малая область содержит несколько O-звезд с видимыми величинами ярче 5.7, хотя на всем небе известно всего 20 таких звезд. Эта ассоциация O-звезд несомненно является реальной физической системой. В той же области Цефея имеется также заметное скапливание звезд типов B0, B1 и B2. Для звезд поздних спектральных типов контраст между ассоциацией и соседними областями уменьшается. Ассоциация содержит два открытых скопления, Тг 37 и NGC 7160. Звезда HD 206267 (O6) является членом скопления Тг 37, которое поэтому является O-скоплением. Сама звезда является четверной системой ADS 15184. Звездой наиболее раннего типа в NGC 7160 является HD 208392 (B1), которая также входит в четверную систему ADS 15434. В дополнение к этим четверным системам в ассоциации Цефей II найдены одна шестерная и три тройные системы. Все эти системы имеются в Каталоге Двойных Звезд Эйткена. Ассоциация содержит также диффузную туманность и области водородной эмиссии. Распределение сверхгигантов M-типов очень нерегулярное; большинство из них встречается вблизи звездных ассоциаций. В области Цефей II мы наблюдаем звезды μ Цефея и VV Цефея, последняя из которых является затменно-двойной со спутником раннего типа. Кратная система ADS 15184 кажется подобной типу Трапеции Ориона, и мы рассмотрим системы этого типа более детально.

В огромном большинстве кратных систем не все расстояния между компонентами одинакового порядка. Тройные системы обычно содержат пару звезд, расстояние между которыми значительно меньше, чем их расстояние от третьего компонента, тогда как четверные системы обык-

новенно содержат две пары таких, что компоненты каждой пары близки друг к другу по сравнению с расстоянием между парами. Среди кратных систем в ассоциации Цефей II звезда ADS 15184 обладает конфигурацией редкого типа, подобной Трапедии Ориона, в которой все расстояния между компонентами одинакового порядка. Система относится к типу Трапедии, если отношение наибольшего пространственного расстояния между компонентами к наименьшему менее трех. Исследование таких систем типа Трапедии в звездных ассоциациях было выполнено в Бюраканской обсерватории. Было найдено, что доля систем типа Трапедии среди кратных систем в звездных ассоциациях гораздо выше, чем где бы то ни было. Пропорция сильно меняется также и со спектральным типом. В промежутке от O до B2 большинство кратных систем принадлежит типу Трапедии. Процент систем типа Трапедии уменьшается приблизительно до 10 для A- и K-звезд, где находится большинство кратных звезд: Наблюдаемые пропорции должны быть исправлены за эффекты проекции, которые могут привести к тому, что система физического нормального типа будет казаться системой типа Трапедии и наоборот. Эти поправки могут быть сделаны при допущении случайной ориентации систем в пространстве, если только известны относительные частоты встречаемости различных конфигураций в нормальных системах. Я вычислил эти поправки, используя частотный закон $N \sim dk/k$, где N относительное число систем, для которых отношение k наибольшего расстояния между компонентами к наименьшему находится между k и $k + dk$. Этот закон не находится в противоречии с наблюдаемыми свойствами ближайших тройных систем. Было найдено, что вероятность того, что система нормального типа будет превращаться в кажущуюся Трапедию, приблизительно равна 0,1. Это явно указывает на то, что 10% систем типа Трапедии, наблюдаемых среди A- и K-типов, не являются реальными трапедиями. Отсюда следует, что реальные системы типа Трапедии встречаются главным образом среди O- и B-звезд, т. е. среди молодых объектов.

Подсчеты времени распада систем типа Трапедии, проведенные при использовании формулы для времени релаксации открытого скопления, подтверждают этот вывод. Вычислено, что при расстояниях между компонентами менее 10^4 а. е. время жизни системы не может превышать двух миллионов лет. Наши выводы подтверждаются также работой Шарплесса относительно частоты систем типа Трапедии среди O-звезд в диффузных туманностях.

Возникает вопрос о том, имеют ли системы типа Трапедии положительные или отрицательные полные энергии. Это не может быть определено непосредственно из имеющихся наблюдений. Однако тот факт, что системы типа Трапедии встречаются в звездных ассоциациях, где изве-

стно, что существуют группы с положительной энергией, дает основание предположить, что многие из них также могут иметь положительные полные энергии. К тому же звездная система с отрицательной энергией распадается выбрасыванием отдельных звезд и при этом основная конфигурация сжимается, тогда как конфигурация системы с положительной энергией расширяется; поэтому наличие нескольких очень широких систем типа Трапеции в ассоциации Лебеда подтверждает то мнение, что системы типа Трапеции являются системами положительной полной энергии. На основе анализа микрометрических измерений Паренаго констатировал, что θ^1 Ориона в действительности обладает значительно большей кинетической энергией, чем абсолютная величина потенциальной энергии.

Эти соображения вместе с тем свидетельствуют, что O-скопление развивается из одной или более систем типа Трапеции.

Разработанная точка зрения приводит к следующему утверждению: «Когда возникает кратная система, то она может иметь или положительную или отрицательную энергию. Системы с положительной энергией быстро разрушаются. Поэтому в данный момент наблюдениями может быть зарегистрировано только небольшое количество таких систем. Системы с отрицательной энергией существуют долго, что и приводит к их большому количеству в Галактике». Не исключена возможность, что некоторые системы нормальных типов могли возникнуть из разрушившихся систем типа Трапеции и, также, что могут возникать некоторые системы с отрицательной энергией, обладающие на ранней стадии развития конфигурацией типа Трапеции.

Указанные до сих пор системы с положительной энергией состояли главным образом из звезд O- и B-типов. Исследуем теперь возможность систем звезд-карликов с положительной энергией. В настоящее время кажется несомненным, что звезды типа T Тельца образуют звездные ассоциации, так называемые T-ассоциации, хорошим примером которых является ассоциация в Тельце; последняя, подобно другим, связана с диффузной туманностью. Холопов из Московского университета показал, что эта ассоциация содержит группу сравнительно компактных скоплений с диаметрами такого же порядка величины, как и у классических открытых скоплений. Хербиг из Ликской обсерватории показал, что плотность в скоплении звезд типа T Тельца у S Единорога значительно больше, чем в общем звездном поле в Галактике. Отсюда следует, что звезды типа T Тельца имеют скорее общее с диффузной туманностью происхождение, чем образуются вследствие случайных встреч звезд общего поля с диффузными туманностями, как думают некоторые астрономы. Шайн и Газе из Крымской астрофизической обсерватории показали, что некоторые диффузные туманности расширяются и должны

иметь очень короткую жизнь. Таким образом, ассоциации звезд типа Т Тельца также должны быть расширяющимися и иметь короткую жизнь, в противном случае должно было бы существовать большое число таких ассоциаций, не связанных с диффузными туманностями. Такие случаи, если они вообще существуют, являются очень редкими.

Нельзя также полагать, что после рассеивания туманности звезды данной ассоциации продолжают составлять физическую группу, хотя и теряют свойственный им характер типа Т Тельца и становятся обыкновенными карликами. В самом деле, это означало бы, что существует большое количество скоплений обыкновенных звезд-карликов. Но такие скопления еще не были открыты. Поэтому, хотя еще и нет прямых доказательств расширения, кажется вероятным, что скопления звезд типа Т Тельца или по крайней мере большая часть их имеют положительную полную энергию и состоят из недавно родившихся звезд.

Теперь мы должны рассмотреть, как возникают системы с положительной энергией. Профессор Оорт из Лейденской обсерватории предполагает, что они возникают в результате воздействия одной или более звезд О-типов на окружающий их комплекс газовых облаков, таких как туманность Розетка вокруг открытого скопления NGC 2244. Расширяющиеся области Н II, образованные вокруг упомянутых горячих звезд, сжимают окружающие области Н I, образуя в них звезды, появляющиеся благодаря возникающей при этом гравитационной неустойчивости. Благодаря расширению газа в целом, образованные таким образом совокупности звезд будут расходиться от центра, тем самым образуя расширяющиеся О-ассоциации. Работа Шайна и Пикельнера, показывающая, что туманность Ориона вероятно расширяющаяся, как будто подтверждает эту теорию.

Однако, как это сознается самим профессором Оортом, трудно представить, как возникла внутри комплекса облаков родительская О-звезда. Кроме того, у некоторых звезд, входящих в ассоциации, наблюдаются скорости разбегания порядка 100 км/сек , как, например, в случае АЕ Возничего и μ Голубя. По приведенной теории скорости разбегания едва ли могут превышать 30 км/сек .

По моему личному мнению будущие наблюдения покажут, что звездные ассоциации и расширяющиеся туманности формируются совместно.

Согласно другому предположению, сделанному Эпиком, ассоциации возникают из сверхновых. Расширяющиеся газовые оболочки захватывают окружающий межзвездный газ и затормаживаются, тем самым образуя область высокой плотности, что приводит к гравитационной неустойчивости. Затем, расширяющиеся группы звезд могут формироваться, как в теории Оорта.

Трудностью в обеих этих теориях является объяснение причины нахождения некоторых скоплений внутри наблюдаемых диффузных туманностей симметричной формы (типа Розетки).

Я не собираюсь представить вам какой-либо механизм происхождения звездных ассоциаций. Однако мне хочется указать на то, что расширяющиеся системы относительно высокой плотности внутри ассоциаций, как следует из наблюдений, настойчиво указывают на дозвездное состояние очень высокой плотности. Кажется, поэтому, естественным предположить, что источником было единое тело — протозвезда. Она должна делиться, по еще неизвестному механизму, образуя систему типа Трапеции. Это, как я уже указывал, затем приводит к расширяющемуся скоплению, которое в свою очередь производит звездную ассоциацию.

Тот факт, что такие протозвезды не наблюдаются, означает, что они имеют низкую для их масс светимость, но возможно, что материя при таких высоких плотностях ведет себя совершенно отлично от нормальной звездной материи. Заманчиво предположить плотности порядка ядерной плотности.

Короче говоря, я полагаю, что мы должны отказаться от старой идеи формирования звезд из диффузной материи и предположить, что как диффузная материя, так и звезды возникают одновременно в результате разделения протозвезд.

Возможный подход к нахождению природы протозвезд и процессов деления заключается в исследовании звезд Т Тельца. Следует ожидать, что в этих звездах можно обнаружить некоторые явления, возникающие при переходе материи из протозвездного состояния в нормальное звездное состояние. Недавно я проводил анализ фактов, относящихся к звездам типа Т Тельца. Главные выводы из этого анализа следующие: 1) нерегулярные изменения яркости звезд типа Т Тельца связаны с процессами освобождения дискретных количеств энергии из некоторых «потенциальных источников» в различных слоях звезды. Во многих случаях эти процессы происходят в атмосфере или даже вне ее. 2) Когда освобождение некоторых количеств энергии имеет место во внешних слоях атмосферы или вне ее, мы непосредственно наблюдаем так называемую «непрерывную эмиссию», вуалирующую линии поглощения. Нетепловое происхождение этого излучения очевидно.

Звезды типа UV Кита являются другим примером непрерывной эмиссии, в этих случаях яркость часто возрастает за несколько секунд. Эти явления не согласуются с обычным представлением о том, что звездная энергия имеет только термоядерное происхождение. Они имеют сходство скорее с атомным распадом в очень большом масштабе, при котором имеют место не совсем обычные виды превращений энергии.

Разумно предположить, что они связаны со свойствами материи, которая пока еще существует в дозвездном состоянии в этих молодых звездах.

Наблюдательные работы ведутся также и в других направлениях, которые, я надеюсь, вскоре прольют больше света на проблему.

Примечание. Опубликованное в журнале „Observatory“ краткое изложение содержания двух лекций В. А. Амбарцумяна, прочитанных в Лондонском университете, было составлено сотрудником этого журнала. Оно не было отредактировано автором лекций, хотя и было напечатано от его имени. В связи с этим в изложение вкрались некоторое количество небольших неточностей. Они исправлены автором при просмотре русского перевода этого изложения для настоящего издания.

КОСМОГОНИЯ

КОСМОГОНИЯ И СОВРЕМЕННАЯ АСТРОФИЗИКА*

Деятнадцатое столетие и первое десятилетие двадцатого столетия 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. Такое ограничение, легко объясняющееся отсутствием хоть сколько-нибудь определенных данных о природе звезд (кроме Солнца) и структуре Галактики, сразу приводило к большим трудностям. 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 его состояния. Поэтому космогонические гипотезы сводились почти исключительно к умозрительным рассуждениям на основе известных законов механики.

Единственным способом проверки являлось сравнение результатов, вытекающих из гипотезы, с состоянием системы, заданным для одного момента и одного экземпляра.

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

* Уч. зап. ЛГУ, № 17, 96, 1937.

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.

То, что было сказано здесь про отдельные звезды, применимо также к совокупности двойных звезд, звездных скоплений и т. д.

Весьма важным для построения физической гипотезы о развитии звезды является учет фактов статистического характера, как, например, функция распределения светимостей (функция светимости), функция распределения пространственных скоростей для звезд с различными физическими характеристиками и т. д. Мы увидим, что значение этих фактов огромно.

Начнем с разбора современных данных об отдельных звездах, а затем перейдем к данным о звездных системах.

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. Фактически звезды абсолютно ярче $+2^m$ встречаются с самыми различными радиусами. Например, звезды с абсолютной яркостью -2^m встречаются как среди звезд типа В, так и среди сверхгигантов типа М. Их радиусы отличаются друг от друга в сотни раз.

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 дисперсии 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 в $2 \cdot 10^9$ лет.

Таким образом, возникают две противоположные концепции: одна — о «долгой шкале времени» эволюции порядка 10^{13} лет; другая — о «короткой шкале времени» эволюции 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 прямой 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.

При этом очевидно, что для звезд абсолютно ярче $+2^m$ горизонтальное перемещение по диаграмме Рессела, связанное с изменением радиуса и эффективной температуры, может происходить в весьма широких пределах. Для звезд же слабее $+2^m$ это горизонтальное перемещение может происходить лишь в весьма узких пределах, так как дисперсия радиусов для звезд данной массы невелика. Впрочем возможно, что радиус звезды данной абсолютной величины (между $+2^m$ и $+10^m$) может и сильно отличаться от радиуса «нормальной» звезды такой светимости, т. е. звезды, находящейся в главной последовательности диаграммы Рессела. Однако продолжительность существования звезд с таким радиусом должна была бы быть сравнительно невелика, вследствие чего мы их мало наблюдаем. Интересно в связи с этим отметить, что слабые компоненты затменных переменных имеют радиусы, как правило, большие, чем «нормальные» радиусы звезд той же светимости. До сих пор не доказано, что этот факт может быть полностью объяснен наблюдательной селекцией.

Что касается скачкообразных переходов из главной последовательности в область белых карликов, то на них мы остановимся дальше.

Таким образом, для теории звездной эволюции фундаментальным вопросом является выбор между долгой и короткой шкалой времени эволюции. Решение этого вопроса уже само ограничивает различные

возможные гипотезы о последовательностях тех наблюдаемых состояний, которые эволюционно связаны между собой.

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 собою, имеется значительно большее число их. Главнейшими параметрами этими 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 космогонии, 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 ϵ и $\epsilon + d\epsilon$ пропорционально $\epsilon d\epsilon$. С другой стороны, можно легко вычислить, что и при статистическом равновесии, т. е. при наиболее вероятном распределении, число пар с эксцентриситетами между ϵ и $\epsilon + d\epsilon$ должно быть тоже пропорционально $\epsilon d\epsilon$.

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 астрономических единиц — время релаксации будет порядка 10^{13} лет. Поэтому, принимая во внимание, что пары с известными орби-

тами 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 ε и $\varepsilon + d\varepsilon$ величине $\varepsilon d\varepsilon$ 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, определяет 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 пропор-

циональна $e^{-\frac{E}{\theta}}$, где E — энергия орбитального движения в паре, а θ — так называемый „модуль“ распределения.

Оказывается, что число эксцентриситетов, заключенных между ε и $\varepsilon + d\varepsilon$, будет пропорционально $\varepsilon d\varepsilon$ не только в том случае, когда плотность пропорциональна $e^{-\frac{E}{\theta}}$, но и 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

Надо исследовать распределение самих энергий и проверить по нему Больцмановский закон. Такое исследование распределения энергий пар, т. е. распределения больших полуосей, не может быть основано на материале известных орбит. В самом деле, здесь избирательность имеющегося материала испортила бы все. Ведь орбиты известны только для тех случаев, когда большая полуось достаточно мала и, следовательно, мал период.

Однако 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, за-

ключенными между a и $a + da$, пропорционально $\frac{da}{a}$. Но отсюда нужно еще получить плотность в фазовом пространстве. Предположим, что фазовая плотность f зависит только от большой полуоси (т. е. от энергии). Тогда нетрудно показать, что полное число пар с большими полуосями между a и $a + da$ должно быть пропорционально $f\sqrt{a} \cdot da$. 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.

Расхождение между Больцмановской формулой и наблюдаемой фазовой плотностью станет особенно ясным, если принять во внимание следующее: модуль распределения θ должен быть равен двум третям кинетической энергии поступательного движения. Зная, что скорости поступательного движения звезд в среднем достигают порядка 30 км/сек, нетрудно заключить, что для $a > 10$ астрономических единиц энергия орбитального движения E будет мала по сравнению с θ . Поэтому для $a > 10$ астрономических единиц можно положить $e^{-\frac{E}{\theta}} = 1$. Таким образом, для широких пар мы должны, согласно формуле Больцмана, приблизительно иметь $f = \text{const}$ вместо наблюдаемого закона

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

который выведен как раз из наблюдений широких пар. Поскольку наблюдения охватывают почти полностью интервал от 100 до 10 000 астрономических единиц, то расхождение между наблюдаемым законом и законом Больцмана очень велико (около 1000 раз). Поэтому на самом деле распределение Больцмана среди двойных звезд не осуществляется хотя бы в самом грубом приближении.

Между тем 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 собою должно происходить разрушение и образование пар. Так, в результате сбли-

жения 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 собою и в результате получается одна двойная звезда и одна одиночная, которая получает увеличение кинетической энергии за счет энергии, освобожденной в результате образования двойной звезды. С течением времени должно установиться некоторое диссоциативное равновесие. При этом диссоциативном равновесии 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 десятки 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.

Что касается данных, относящихся к яркостям компонент двойных звезд, то они до сих пор не нашли серьезной интерпретации. Между тем именно эти данные могут пролить яркий свет на вопрос о происхождении двойных звезд.

Укажем, например, на один поразительный факт, с которым мы здесь встречаемся.

Для каждой рассматриваемой группы двойных звезд мы можем составить функцию светимости спутников, т. е. такую функцию $\varphi(M)$, что $\varphi(M) dM$ есть процент спутников с абсолютными величинами, заключенными между M и $M + dM$.

Если мы возьмем все двойные звезды, у которых главная звезда принадлежит к спектральным классам O и B, то оказывается, что $\varphi(M)$ практически постоянно в пределах, заключенных между яркостью главной звезды (т. е. средней яркостью звезд типа B) и абсолютной яркостью $+ \dots$. Таким образом, относительное число карликов среди спутников звезд типа B мало по сравнению с числом карликов среди звезд вообще. Иными словами, кривая светимости спутников звезд типа B очень сильно отличается от кривой светимости звезд вообще и притом в смысле бедности карликами.

Наоборот, кривая светимости для спутников звезд-гигантов типов G—K весьма напоминает кривую светимости звезд вообще, т. е., чем

слабее спутники, тем чаще они встречаются. Дело обстоит таким образом, как если бы спутники этих желтых гигантов были случайным образом взяты из совокупности всех одиночных звезд.

Значение этого факта с точки зрения теории развития звезд и звездной системы пока для нас непонятно. Быть может, для его интерпретации прежде всего нужно будет узнать разницу во внутренней природе белых и желтых гигантов.

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 собою и, следовательно, обмен кинетическими энергиями. В результате первоначальное распределение 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. Такие 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. Вычисление показывает, что при наблюдаемых плотностях время, в течение которого скопление разрушится наполовину, не превосходит 10^{10} лет. Для изгнания же карликов из скоплений 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 собою 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

Мы видим, что все данные говорят в пользу короткой шкалы времени эволюции нашей звездной системы. Трудно предполагать, что звезды старше, чем галактическая система. Поэтому нужно считать, что и звезды в их современном виде существуют не больше двух-трех миллиардов лет. Но отсюда следует, что вопрос о значительном изменении массы в результате лучеиспускания отпадает. Следовательно эволюция должна совершаться при постоянной массе. Встает вопрос: нельзя ли теоретически подойти к вопросу о возможности эволюции звезды при постоянной ее массе?

Обращаясь к теории внутреннего строения звезд, мы должны прежде всего заметить, что эта теория рассматривает только состояния равновесия звезд, и трактовка проблемы эволюции в этой теории должна поневоле сводиться к вопросу о возможных непрерывных или катастрофических переходах из одной конфигурации равновесия в другую. Сколько же различных конфигураций равновесия может с точки зрения

теории внутреннего строения звезд принять данная газовая масса? Вообще говоря — одно, если только химический состав этой массы задан. В самом деле, масса газа, предоставленная самой себе и обладающая свойством выделять энергию в определенных условиях и в зависимости от этих условий, придет, в конце концов, в некоторое состояние равновесия, в котором она будет обладать определенным радиусом и определенной светимостью. Можно допустить, что уравнения равновесия допускают при заданных предельных условиях не одно, а два или несколько решений при данной массе. Можно даже допустить, что обыкновенная звезда и белый карлик той же массы соответствуют как раз таким различным решениям.

Но как понять существование в природе целой непрерывной совокупности конфигураций, соответствующих одной и той же массе и светимости (например, совокупность гигантских конфигураций для абсолютной величины 0^{n})? Мало того, что звезды одинаковой массы обладают при этом различными радиусами и, следовательно, различными условиями во внутренних слоях. Важно то, что, несмотря на разницу внутренних условий, образование энергии идет во всех этих звездах с одинаковой интенсивностью и поэтому они обладают одинаковой светимостью. Трудно удержаться от мысли, что здесь играет роль разница в химическом составе этих звезд. Однако разница в химическом составе должна быть такова, чтобы, влияя на конфигурацию звезды, она не могла повлиять на величину генерируемой в единице массы энергии.

То, что химический состав звезд может быть различен, не противоречит фактам. Наоборот, мы знаем, например, что пока единственной возможностью объяснения разницы в спектрах звезд М, S и N является допущение о различии химического состава их атмосфер.

Следовательно, мы приходим к выводу, что эволюция вдоль ветви гигантов должна быть связана с изменением химического состава звезды. Происходит ли такое изменение химического состава, сказать трудно. Ряд авторов предполагал, что источником звездной энергии являются внутриядерные превращения. В таком случае изменения химического состава должны происходить. Однако тогда непонятно, почему эти изменения не отражаются на темпе внутриядерных процессов и тем самым на светимости звезды.

Вообще нужно сказать, что теория внутреннего строения звезд находится сейчас в довольно плачевном состоянии именно из-за незнания природы источников звездной энергии. Поэтому она не в состоянии ответить на вопрос о том, происходит ли эволюция звезд вдоль горизонтальных линий диаграммы Рессела.

Все вышеизложенное, казалось бы, делает сомнительной вообще возможность значительного продвижения большинства звезд по пути

эволюции за время существования нашей звездной системы. Этот вывод неверен, ибо, как указывалось, возможны внезапные переходы с резким изменением физических характеристик звезды. Так, например, мы видели, что скачкообразный переход звезды из главной последовательности в область белых карликов не противоречит всем приведенным выше данным.

Имеются ли в астрофизике наблюдательные данные о тех или иных катастрофических периодах в жизни звезд? Имеются, и притом уже давно. Однако только теперь мы начинаем находить пути к правильной интерпретации этих явлений. Мы рассмотрим здесь четыре категории фактов, связанных с резкими изменениями в жизни звезд. Это — новые звезды, сверхновые, планетарные туманности и звезды Вольфа-Райе.

Новые звезды

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. Однако 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 приближенно 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 приходится не одна, а, вероятно, несколько десятков вспышек. Следовательно вспышки происходят довольно часто в жизни звезды. 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, при-

дета 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 около ста миллионов раз ярче Солнца. Спектроскопические наблюдения, произведенные в 1936 г., установили, что и в этом случае мы имеем дело с выбрасыванием оболочки. Мы не имеем еще детальных исследований о массе выброшенной таким образом оболочки, 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. Можно поставить вопрос: не имеем ли мы здесь дело с переходом «обыкновенной» звезды в состояние белого карлика. Однако ответить на этот вопрос пока мы не можем.

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

Однако именно эта редкость явления и привела к тому, что оно столь мало исследовано и не использовано для построения теории развития звезды.

П л а н е т а р н ы е т у м а н н о с т и

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.

Наряду с планетарными туманностями представляют большой интерес и большие диффузные газовые туманности. Однако их исследование как с теоретической, так и с наблюдательной стороны мало продвинулось вперед для того, чтобы можно было использовать их для космогонии.

З в е з д ы т и п а В о л ь ф а - Р а й е

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

ное и непрерывное выбрасывание 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 Лебеда.

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.

Резюмируя, мы можем сказать, что в современной астрофизике происходит интенсивное накопление материала, который ляжет в основу будущей теории развития звезд. Отрадно видеть, что советские ученые занимаются в первую очередь исследованием именно такого материала.

Астрономическая обсерватория ЛГУ
Апрель, 1937 г.

ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЕЗД И АСТРОФИЗИКА*

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

* Изд. АН Армянской ССР, Ереван, 1947.

В работе было опубликовано следующее примечание автора.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Отсюда получается следующий вывод:

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

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

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

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

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

наблюденных случаев интенсивного выбрасывания вещества относится к горячим звездам.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Это первый, чрезвычайно важный космогонический вывод из современной Астрофизики.

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

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

Это второй чрезвычайно важный космогонический вывод из данных современной Астрофизики.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

При этом имеются две возможности:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

обобщить тот фактический материал, который относится к нашей Галактике.

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

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

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

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

К вопросу об отсутствии диссоциативного
равновесия в звездной системе

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

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

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

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

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

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

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

Мы имеем:

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

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

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

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

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

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

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

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

иначе спутник будет гиперболическим. Поэтому

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

откуда следует, что

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

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

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

Подставляя этот результат в (1), найдем:

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

Входящие в правую часть два безразмерных множителя

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

имеют очень простой физический смысл:

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

Поэтому получаем:

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

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

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

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

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

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

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

Добавление 2

О количестве поглощающего вещества в эллиптических туманностях

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

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

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

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

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

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

где

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

а τ_1 есть полная оптическая толщина всей системы в рассматриваемом направлении.

Вынося среднее значение B за знак интеграла, получаем:

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

откуда

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

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

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

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

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

Сравнивая с (3), получаем:

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

Или

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

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

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

Наблюдения не устанавливают также наличия в них отдельных темных облаков.

Л И Т Е Р А Т У Р А

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

ЗВЕЗДНЫЕ АССОЦИАЦИИ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЗВЕЗД*

Как известно, наша Галактика — звездная система, в которой мы живем, — состоит из десятков миллиардов звезд. Солнце со своей планетной семьей — один из членов Галактики. Все эти звезды совершают движение вокруг центра тяжести Галактики. Среди них часто встречаются двойные, тройные и многократные звезды, состоящие из тел одного порядка массы. Компоненты двойной звезды составляют звездную пару, которая, помимо общего движения вокруг центра Галактики, имеет еще движение обеих ее составляющих вокруг центра тяжести пары.

Еще более внушительную картину представляют собой звездные скопления, состоящие из большого числа звезд. Каждая из звезд, входящих в звездное скопление, совершает два движения — одно вокруг центра тяжести скопления, другое — вместе со скоплением вокруг общего центра Галактики. Звездные скопления являются, так сказать, коллективными членами Галактики.

Звездные скопления делятся на два типа — открытые звездные скопления и шарообразные. Первые являются менее плотными объектами в том смысле, что число звезд в них на единицу объема, занимаемого скоплением, относительно мало. Обычно они состоят из нескольких десятков, самое большее из нескольких сот членов. Открытые скопления обращаются вокруг центра Галактики по орбитам, близким к круговым, и при своем движении мало удаляются от плоскости симметрии Галактики. Состоят они главным образом из звезд относительно высокой светимости; карликов в их составе очень мало. Шарообразные звездные скопления резко отличаются от открытых скоплений. Каждое из них состоит из десятков тысяч, а возможно и из сотен тысяч звезд. Орбиты шаровых скоплений вокруг центра Галактики сильно отличаются от круговых. При своем движении по орбите они могут удаляться от плоскости симметрии Галактики на большие расстояния, иногда на тысячи парсек. Шарообразные звездные скопления весьма богаты звездами

* Изв. АН СССР, серия физическая, **14**, № 1, 15, 1950.

низкой светимости (карликами и, вероятно, субкарликами, открытие которых — результат исследований советского астронома П. П. Паренана) и вовсе не содержат горячих сверхгигантов.

Несмотря на столь большие различия между ними, скопления и того и другого типа всегда резко выделяются на фоне того галактического звездного поля, в которое они погружены, в виде сильных сгущений. На фотографиях неба они всегда выходят в виде весьма заметных «звездных куч» (рис. 1; см. вклейку к статье).

Всякое звездное скопление движется в общем поле притяжения Галактики. Это поле не однородно, поэтому звезды, находящиеся в разных частях скопления, получают различное ускорение. Это означает, что общее поле притяжения Галактики стремится растянуть и разрушить скопление. Такое воздействие со стороны всей Галактики на скопления похоже на приливное воздействие Солнца (или Луны) на жидкую оболочку Земли и может быть названо приливым воздействием. Если приливно-тянущая сила превзойдет по величине силу притяжения между звездами скопления, скопление не сможет дальше сохраняться как целое, — оно немедленно начнет разрушаться. Легко подсчитать, при каких условиях приливные силы превзойдут внутренние силы притяжения между звездами скопления. Это будет тогда, когда средняя плотность скопления станет ниже некоторой критической плотности, которая по величине порядка средней плотности Галактики. Это означает, что для разрушения скопления необходимо, чтобы его плотность сделалась ниже плотности того общего галактического звездного поля, в котором оно движется.

Отсюда, казалось, следовал вывод, что такие скопления вообще не должны существовать. Кроме того, звезды такого скопления вследствие низкой его плотности по сравнению с окружающим фоном терялись бы среди этого фона. Такое скопление было бы трудно обнаружить на прямых снимках неба. До последнего времени вопрос о возможности существования системы с такой низкой плотностью и не ставился.

В 1947 г. мы обратили внимание на два факта, выяснившиеся из наблюдений.

Среди свыше десятка тысяч переменных звезд, известных в настоящее время астрономам, есть несколько десятков звезд, принадлежащих к типу Т Тельца. Звезды этого типа отличаются полной неправильностью в изменении блеска и обнаруживают в спектре яркие линии. Они принадлежат к числу карликов спектральных типов G—K—M. Оказалось, что звезды типа Т Тельца не разбросаны сколько-нибудь равномерно по небу, а расположены гнездами в определенных участках неба, диаметром каждый около десяти градусов. Среди звезд этого типа особенно выделяются две группы звезд: одна в Тельце — Возничем, другая

в Орле — Змееносце. Такое сосредоточение известных звезд типа Т Тельца в определенных областях неба не может быть объяснено условиями наблюдений. Оно указывает на существование в Галактике реальных группировок звезд этого типа.

Однако наличие таких группировок не может быть и результатом случайных флуктуаций в распределении звезд типа Т Тельца в галактическом пространстве. Следовательно, между членами каждой такой группы существует какая-то связь. Зная расстояние между звездами в этих группах, можно оценить диаметры и плотность групп. Эта плотность оказывается в сотни раз меньшей, чем плотность того галактического поля, в которое эта группа звезд погружена. Само собой разумеется, что на прямых снимках неба звезды, составляющие такие группы, совершенно теряются среди тысяч звезд фона. Поэтому такие группы нельзя причислять к обычным звездным скоплениям; им было дано наименование Т-ассоциаций. Было обнаружено затем, что наряду с переменными звездами типа Т Тельца, в тех же участках неба имеется по несколько десятков звезд-карликов тех же спектральных типов G—K—M с яркими линиями, однако не обнаруживающих заметного изменения блеска. Несомненно, что эти звезды связаны с остальными членами группы, так что их также можно считать членами Т-ассоциации. Но и с учетом этих членов средняя плотность ассоциации получается во много раз меньшей, чем плотность общего звездного поля, в котором она находится. Как мы видели, такая система звезд не может долго существовать в Галактике и в случае возникновения должна немедленно начать разрушаться. Между тем такие системы Т-ассоциаций мы наблюдаем. Остается допустить, что Т-ассоциации являются группами звезд, недавно возникших и в настоящее время расходящихся под влиянием приливных сил, исходящих от Галактики в целом.

Еще больший интерес представляют данные о рассеянных группах звезд спектральных типов O и B — горячих сверхгигантов.

Было известно уже раньше, что открытое скопление NGC 6231 в Скорпионе и двойное скопление η и ζ в Персее окружены каждое группой из двух-трех десятков сверхгигантов высокой температуры. Диаметр группы, окружающей двойное скопление η и ζ Персея, достигает в проекции 5 градусов дуги, что во много раз превосходит диаметр каждого из этих скоплений. Указанные два скопления образуют как бы два ядра в этой большой ассоциации звезд типов O и B. Линейный диаметр этой ассоциации порядка 170 парсек. Это — небольшой диаметр по сравнению с диаметрами других звездных скоплений, открытых и шарообразных. И в этом случае ассоциация представляет собой настолько разреженную группу звезд, что она никак не выделяется (за исключением, разумеется, ее ядер) на прямых фотографических снимках, на

которых видны все звезды, но представит собой заметное сгущение, если мы нанесем на карту только звезды типов О и В.

Правда, звезды типов О и В обладают самыми высокими абсолютными яркостями. Но на фотографиях мы их видим затерянными среди тысяч других звезд, обладающих низкой абсолютной яркостью, но находящихся на более близком расстоянии и по видимой звездной величине часто не уступающих членам ассоциации. Это привело к мысли, что если такого же рода ассоциации горячих сверхгигантов, или, как мы их назвали, О-ассоциации, имеются во внешних галактиках, то для земного наблюдателя они не будут теряться на общем звездном фоне этих галактик, так как, с одной стороны, фон этот состоит из абсолютно слабых звезд и, с другой стороны (поскольку все звезды любой внешней галактики практически одинаково удалены от нас), соотношения между видимыми яркостями этих звезд остаются такими же, как соотношения между их абсолютными яркостями, если пренебречь небольшими колебаниями в поглощении. Получается несколько парадоксальное положение, при котором ассоциации в своей Галактике обнаруживать труднее, чем в ближайших внешних галактиках.

Эти же соображения приводят также к выводу, что О-ассоциация вокруг h и χ Персея должна представляться наблюдателю, смотрящему из какой-либо внешней галактики, в виде гигантского звездного скопления диаметром в 170 *парсек*, ассоциация в Скорпионе — в виде скопления диаметром в 30—40 *парсек*. Заметим, что диаметры обычных открытых скоплений в Галактике редко превышают десять парсек и всегда меньше двадцати парсек.

Как раз в отношении одной из двух ближайших к нам внешних галактик — Большого Магелланова Облака — наблюдения показали, что, наряду с открытыми звездными скоплениями диаметром до 20 *парсек*, в ней существует небольшое число (около 15) гигантских скоплений диаметром более 30 *парсек*. В частности, широко известно гигантское скопление NGC 1910 в Большом Магеллановом Облаке, диаметр которого порядка 70 *парсек*. Это скопление состоит из горячих сверхгигантов. Между прочим в него входит звезда S Золотой Рыбки, обладающая наивысшей абсолютной яркостью из всех известных до настоящего времени звезд, принадлежащая к типу звезд Р Лебедя, отличающихся, в частности, тем, что из них происходит непрерывное и притом весьма мощное истечение вещества. Нет никаких сомнений, что скопление NGC 1910, так же как и другие гигантские скопления в Большом Магеллановом Облаке, не являются обычными «открытыми скоплениями», а являются О-ассоциациями, примеры которых мы видели и в нашей Галактике.

В других, более отдаленных галактиках неправильной формы, как и в поздних спиральных, мы также встречаем подобного рода образова-

ния. В частности, спиральные ветви галактик типа Sc состоят из отдельных сгущений, которые содержат голубые звезды высокой светимости, т. е. звезды типов O и B. В некоторых случаях спектр этих сгущений состоит из ярких линий, характерных для газовых туманностей. (Это — галактики, у которых спиральные ветви сильно развиты и ядро сравнительно мало). В этих случаях сгущение содержит большую диффузную газовую туманность. Но известно, что свечение больших диффузных туманностей вызывается обычно группами звезд O и B. Таким образом, в обоих случаях сгущения в ветвях поздних спиралей по существу являются звездными ассоциациями.

Кстати, возвращаясь к нашей Галактике, отметим, что в туманности Ориона и вокруг нее находится целая группа звезд типов O и B, расположенная от нас на расстоянии 450 *парсек* и составляющая O-ассоциацию. Интересно, что и в этой ассоциации, как и в других ассоциациях, состоящих из звезд высокой светимости, имеются ядра в виде открытых скоплений. В частности, несомненно, что открытое скопление, окружающее Трапецию Ориона, кратную звезду, часто привлекавшую к себе внимание астрономов, и наблюдаемое лишь на фотографиях через фильтры, не пропускающие излучения туманности, является ядром O-ассоциации в Орионе.

Исследования, произведенные на Бюраканской астрофизической обсерватории Академии наук Армянской ССР выявили в нашей Галактике двадцать O-ассоциаций, расположенных от нас на разных расстояниях. Некоторые из этих ассоциаций, помимо звезд, содержат газовые туманности. Таковы, например, ассоциации Единорога II, Стрельца I, Ориона, Киля. В других случаях хотя и можно обнаружить туманность, проектирующуюся на ту же область неба, что и O-ассоциация, однако связь этой туманности с ассоциацией еще требуется доказать.

Плотность O-ассоциаций, как уже говорилось выше, по порядку величины ниже плотности того галактического звездного поля, в которое они погружены. Поэтому они не могут быть стационарными образованиями. Они должны собой представлять только что образовавшиеся и теперь распадающиеся группы звезд. Легко показать, что образование ассоциации не могло быть следствием внезапного разрушения какой-либо стационарной системы, отдельных звезд или других тел, с механической точки зрения эквивалентных звездам.

Единственным возможным объяснением существования ассоциаций является предположение, что ее члены, т. е. входящие в нее звезды, сформировались в ней как динамические единицы. Принимая во внимание, что дифференциальное галактическое вращение должно разрушать ассоциацию, легко оценить верхнюю границу их возраста. Для обычных ассоциаций она получается порядка нескольких десятков миллионов

лет, что представляет собой весьма малую величину по сравнению с возрастом Галактики, который измеряется по меньшей мере миллиардами лет. Если же предположить, что, помимо приливной силы, существуют и другие силы, приводящие к расхождению звезд, например, если предположить, что звезды сформировались в какой-либо небольшой области пространства и потом были выброшены оттуда, то вместо 50—60 миллионов лет получаются возрасты порядка лишь 10—20 миллионов.

Мы приходим к выводу, что *звезды, составляющие как О-ассоциации, так и Т-ассоциации, чрезвычайно молоды.*

Но имеются и независимые доказательства крайней молодости звезд, входящих в О-ассоциации. Звезды типов О и В и Вольфа-Райе являются наиболее массивными из всех известных нам звезд. Их массы в десять, а иногда и в несколько десятков раз больше массы Солнца. С их поверхности происходит мощное истечение вещества. В случае, например, звезд типов Вольфа-Райе и Р Лебеда это истечение происходит непрерывно, в случае звезд типа В оно то усиливается, то ослабляется, в связи с чем у них то появляются, то исчезают яркие линии в спектрах.

Итак, звезды упомянутых типов имеют наибольшие среди всех звезд массы и вместе с тем интенсивно теряют эту массу. Ясно, что они не могли образоваться из звезд других типов, находящихся в других состояниях, а возникли из каких-то тел незвездной природы. Интенсивность выбрасывания вещества доказывает, что это возникновение звезды произошло совсем недавно.

Таким образом, не вызывает никаких сомнений, что звезды в ассоциациях сформировались очень недавно. Это приводит нас к фундаментальному выводу о том, что *формирование звезд продолжается в Галактике и в нашу эпоху.* Другой важный вывод заключается в том, что *возникновение звезд происходит группами, ассоциациями.*

Встает вопрос: достаточен ли механизм образования звезд через звездные ассоциации для объяснения происхождения всех звезд, населяющих Галактику? Хотя мы и не знаем пока подробности этого механизма, все же мы можем попытаться рассмотреть этот вопрос.

Для этого прежде всего следует принять во внимание результаты выполненного Б. В. Кукаркиным исследования строения Галактики. Согласно работе Б. В. Кукаркина, исследуя по отдельности распределение в Галактике звезд различных физических типов (например, звезд типа А или короткопериодических цефеид, или новых звезд), мы замечаем, что эти подсистемы имеют часто разную структуру, т. е. соответствующие типы звезд показывают разное распределение в пространстве и в пространстве скоростей. Однако можно выделить группы подсистем,

весьма похожие друг на друга по пространственному распределению звезд. Это, например, «плоские» подсистемы, т. е. подсистемы тех типов звезд, которые сосредоточены преимущественно вблизи плоскости симметрии Галактики (сильно сплюснены). Звезды типов О, В, А, долгопериодические цефеиды, красные сверхгиганты — все они составляют плоские подсистемы. Короткопериодические цефеиды и субкарлики, открытые П. П. Паренаго, составляют сферические подсистемы. Существуют и промежуточные подсистемы. Например, подсистемы карликов спектральных типов G и K и, может быть, M принадлежат к промежуточному типу.

Фазовое распределение каждой из подсистем стационарно. Это распределение должно подвергаться медленным изменениям в результате сближений звезд между собой, так как при сближениях значения интегралов движения (элементов галактических орбит) сближающихся звезд будут вообще меняться. Однако возраст звезд в Галактике мал по сравнению с временем релаксации. Поэтому влиянием сближений за время жизни звезд можно пренебречь. Следовательно, подсистемы не меняют со временем своего пространственного распределения: открытые системы не превращаются в сферические, и наоборот. Поэтому звезды, входящие, скажем, в какую-либо плоскую подсистему, не могут превращаться в звезды другого физического типа, составляющие, скажем, сферическую подсистему. Иными словами, звезды, принадлежащие к подсистемам разного типа, не могут являться разными этапами развития одинаковых объектов.

При изменении состояния звезды соответствующий этому состоянию тип подсистемы не меняется сколько-нибудь значительно.

В связи с этим обращает на себя внимание тот факт, что типам звезд, встречающимся в О-ассоциациях, всегда соответствуют плоские подсистемы, а тем типам, которые встречаются и, по-видимому, возникают в Т-ассоциациях, — промежуточные подсистемы.

Непосредственно возникает мысль, что все звездное «население» плоских подсистем образовалось в О-ассоциациях, а все «население» промежуточных подсистем — в Т-ассоциациях.

Это означает, что звезды, возникающие в Т-ассоциациях, должны уходить из них с большими скоростями (это приводит к относительно большой дисперсии скоростей в подсистемах звезд, возникающих в этих ассоциациях), а из О-ассоциаций звезды должны уходить с малыми скоростями.

Сделаем грубую прикидку. Если мы уже знаем в окрестностях Солнца (на расстояниях до 3 000 парсек) двадцать О-ассоциаций, то, вероятно, их общее число в Галактике порядка 10^3 . Если время жизни

ассоциаций принять порядка 10^7 лет, это означает, что в каждые 10^4 лет появляется одна О-ассоциация. За время жизни Галактики порядка 10^{10} лет должно было появиться и рассеяться 10^6 О-ассоциаций. Если полное число звезд, возникающих в каждой О-ассоциации, порядка нескольких сот или 10^3 , то получается, что за время жизни Галактики общее число звезд, возникших в О-ассоциациях, окажется порядка нескольких сот миллионов или одного миллиарда. Этого количества вполне достаточно для объяснения происхождения всего звездного населения плоских подсистем.

Такой же расчет для Т-ассоциаций делается еще менее уверенно. Заметим, что Т-ассоциаций в Галактике, вероятно, гораздо больше, чем О-ассоциаций. Мы знаем только две-три такие ассоциации лишь благодаря тому, что они состоят из слабых карликов и обнаружение их на больших расстояниях связано с трудностями. Учитывая эту небольшую дальность видимости Т-ассоциаций и производя соответствующие расчеты, мы приходим к выводу о том, что число звезд, возникших в них, должно быть на один порядок выше, чем число звезд, возникших в О-ассоциациях. Это дает возможность объяснения происхождения всех карликов, входящих в промежуточные подсистемы, кроме самых слабых (слабее абсолютной величины +11).

С другой стороны, совершенно очевидно, что звезды сферических подсистем не возникают в известных нам звездных ассоциациях. Вопрос об их возникновении требует отдельного рассмотрения.

В полном согласии с обнаружением двух основных типов звездных ассоциаций и представлением о возникновении звездного населения подсистем одинакового типа из ассоциаций одинакового типа находится результат последнего большого исследования П. П. Паренаго, согласно которому звезды всех плоских подсистем имеют почти одинаковые дисперсии скоростей и одинаковые другие статистико-кинематические характеристики. Это же справедливо и для различных промежуточных подсистем. Если мы будем рассматривать все статистико-кинематические параметры как функцию спектрального типа на главной последовательности, то, согласно Паренаго, эти функции терпят разрыв где-то в типах F—G, оставаясь постоянными до и после точки разрыва. Этот разрыв, очевидно, связан с переходом от звезд, возникших в О-ассоциациях, к звездам, возникшим в Т-ассоциациях.

Зарождаясь в ассоциациях, звезды не остаются после этого неизменными, а продолжают развиваться. Их состояние меняется. Об отдельных сторонах этих изменений говорят, например, следующие факты:

1) подавляющее большинство О-звезд (около 90%) входит в О-ассоциации (Г. А. Гурзадян). Это означает, что, пока О-звезды успевают уйти из ассоциации (за время порядка 10^7 лет), их спектральный

тип успеваает измениться. То же самое относится и к звездам типа Р Лебеда.

2) Долгопериодические цефеиды, также составляющие плоскую подсистему, никогда (или почти никогда) не входят в О-ассоциации. С другой стороны, надо полагать, что они, как члены плоской подсистемы, возникли в ассоциациях. Следовательно, долгопериодические цефеиды являются продуктом дальнейшего развития сверхгигантов, возникающих в звездных ассоциациях.

3) Так как желтые и красные гиганты и сверхгиганты образуют плоские подсистемы, то следует думать, что они образуются из объектов, возникающих в О-ассоциациях. Наличие красных сверхгигантов в ассоциации вокруг β и γ Персея доказывает, что, по крайней мере в некоторых случаях, превращение сформировавшейся звезды в сверхгигант низкой температуры происходит за весьма короткий промежуток времени. Это находится в полном согласии с представлениями В. В. Соболева о том, что красные сверхгиганты отличаются от звезд типов О и В лишь наличием протяженной дополнительной оболочки.

Приведенные выше соображения раскрывают, в известной степени, значение звездных ассоциаций с точки зрения космогонии. Они подчеркивают важность более подробного исследования этих образований. Как раз работы, выполненные за самое последнее время в Бюраканской астрофизической обсерватории, вскрыли ряд подробностей в строении ассоциаций, представляющих значительный интерес. Перехожу к этим фактам.

Как известно, большинство кратных систем таково, что они состоят из двух близких между собой компонентов и одного далекого. Расстояние между двумя близкими компонентами АВ очень мало по сравнению с расстояниями АС и ВС между ними и третьим компонентом. Такая система может быть названа *кратной системой обыкновенного типа*. Легко видеть, что все движения в такой системе носят приблизительно кеплеровский, периодический характер. Если мы возьмем четверную систему, то большинство из них представляет собой систему, в которой две тесные пары, находящиеся на большом расстоянии друг от друга, совершают движение вокруг общего центра тяжести, т. е. и в них расстояния между одними компонентами системы больше, чем между другими.

Но есть кратные системы и другого типа.

Мы видели выше, что в центре открытого скопления, являющегося ядром ассоциации в Орионе, находится кратная система Трапеции Ориона. Эта кратная система отличается от большинства других кратных систем тем, что в ней все расстояния между компонентами системы — величины одного порядка. Это обстоятельство накладывает определенный

характер на движения в этой системе. Поэтому для отличия таких систем от кратных систем обыкновенного типа мы ввели понятие о кратных системах типа Трапеции Ориона. Таким образом, если в кратной системе (тройной звезде, четверной и т. д.) можно выбрать три таких компонента А, В и С, все три расстояния между которыми — АВ, АС и ВС — величины одинакового порядка, то такую систему мы назовем *системой типа Трапеции Ориона*. Движения в таких системах не носят периодического характера. В результате обмена энергиями между компонентами такие системы будут распадаться, подобно тому как в результате обмена энергиями, происходящего при близких прохождениях, распадается всякое звездное скопление.

Выделение класса кратных систем типа Трапеции Ориона оказалось весьма плодотворным для изучения звездных ассоциаций. Оказалось, что в О-ассоциациях имеется большое число таких систем, редко встречающихся вне звездных ассоциаций.

Изучение ассоциации в Лебеде, куда в качестве одного из членов входит сама звезда Р Лебедя, показало, что в этой ассоциации пять ядер — открытые скопления. Из них по крайней мере четыре скопления содержат в своем составе кратные системы типа Трапеции Ориона. Так, скопление NGC 6871 содержит две такие системы с числом компонентов более четырех в каждой, скопление IC 4996 содержит такую систему, состоящую из десяти компонентов. Кроме того, в этой ассоциации имеются изолированные системы типа Трапеции Ориона, не входящие ни в какие скопления. Интересно, что главные звезды каждой из этих систем принадлежат к типу О или В0.

Кратные системы типа Трапеции Ориона имеются и в других ассоциациях — в Единороге II, в Киле, в Кассиопее I, в Кассиопее II и т. д. Линейные размеры этих систем порядка десяти тысяч астрономических единиц.

Можно рассчитать время, необходимое для распада системы этого типа. Оно порядка трех миллионов лет, если система имеет отрицательную полную энергию, и порядка одного миллиона лет и меньше, если полная энергия системы положительна. Поэтому и в том и в другом случае кратные системы типа Трапеции Ориона являются одними из наиболее молодых объектов в ассоциации. Их присутствие полностью подтверждает наши представления о сущности звездных ассоциаций. Но оно дает еще больше. Оно показывает, что *и внутри ассоциаций звезды образуются не все вместе, а отдельными группами* — скоплениями, системами типа Трапеции Ориона. Наличие в какой-либо звездной ассоциации значительного числа кратных систем типа Трапеции Ориона является свидетельством того, что процесс образования звезд в ней либо продолжается, либо же только что прекратился. Можно, например, по-

лагать, что в ассоциации вокруг Р Лебеда он еще не прекратился. А это означает, что в этой ассоциации должны еще существовать тела, из которых возникают такие группы звезд. Эти тела были названы нами протозвездами.

Б. Е. Маркарян установил, что большинство открытых скоплений, являющихся ядрами О-ассоциаций, содержат кратные системы типа Трапеции Ориона и что последние составляют в этих случаях резко выделяющуюся деталь в строении этих скоплений.

В тех же случаях, когда звездное скопление, являющееся ядром О-ассоциации, не содержит кратной системы типа Трапеции Ориона, оно содержит обычно резко выраженные звездные цепочки.

Наиболее выдающимся примером такого рода скоплений является звездное скопление NGC 7510, представляющее собой ядро ассоциации Кассиопея II (рис. 2, см. вклейку к статье). Наиболее яркие звезды этого скопления образуют две параллельно идущие цепочки. Самая яркая из звезд этих цепочек принадлежит к спектральному типу О. Таковую же структуру из двух цепочек имеет одно из ядер ассоциации в Персее и одно из ядер ассоциации Кассиопея I. В последнем случае звезда, находящаяся в конце одной из двух цепочек, составляющих скопление, является кратной системой типа Трапеции Ориона.

Совершенно очевидно, что скопление, состоящее из двух цепочек, не может представлять собой стационарную систему звезд, движущихся в собственном поле притяжения скопления. Поэтому такая система не может долго находиться в этом состоянии. Такая структура скопления свидетельствует о его молодости.

В 1949 г. в Бюраканской обсерватории на рефлекторе Шмидта были получены снимки очень большого числа открытых звездных скоплений, в том числе тех скоплений, которые входят в состав звездных ассоциаций в качестве их ядер. Изучение этих снимков привело Б. Е. Маркаряна к следующим важным выводам.

Всякое звездное скопление, содержащее среди своих наиболее ярких звезд кратную систему типа Трапеции Ориона или цепочки, является ядром какой-либо ассоциации и, наоборот, всякое скопление, являющееся ядром О-ассоциации, содержит внутри себя кратную систему (или системы) типа Трапеции Ориона или цепочки.

Некоторое время нам казалось, что это правило имеет исключение. Именно на снимке скоплений β и γ Персея, полученном в 1948 г., не было заметно ни системы типа Трапеции Ориона, ни цепочек. Однако на снимке, полученном в 1949 г. с малой экспозицией и очень хорошей гидрировкой, прекрасно видно, что одно из этих скоплений содержит две системы типа Трапеции Ориона, а другое — цепочки (рис. 3, см. вклейку к статье). Таким образом система скопления β и γ Персея явилась

наилучшим доказательством справедливости приведенного выше правила Маркаряна.

Кроме того, Б. Е. Маркаряном установлено и другое правило: *если открытое скопление содержит звезды типа O или B0, оно является одновременно ядром некоторой O-ассоциации.*

Изучение звездных ассоциаций привело также Маркаряна к некоторым выводам, имеющим значение для теории развития открытых звездных скоплений вообще. Так, он обратил внимание на то, что подавляющее большинство открытых скоплений, являющихся ядрами ассоциаций, содержит сравнительно небольшое число звезд — порядка трех-четырёх десятков. Наиболее яркие звезды в каждом из этих скоплений принадлежат к интервалу типов O — B1. Поскольку вне ассоциаций мы не наблюдаем скоплений, включающих звезды этих типов, остается принять, что за время, пока O-ассоциация рассеивается, звезды скопления успевают изменить свой спектральный тип или же что скопление также успевает рассеяться, так как других скоплений внутри ассоциации мы не наблюдаем.

Если справедливо первое, то мы должны наблюдать сейчас в Галактике очень большое число сравнительно бедных звездами скоплений без звезд типов O — B1, скоплений, являющихся результатом дальнейшего развития ядер ассоциаций. Мы знаем, что скоплений, в которых наиболее горячие звезды принадлежат к типам B5 ... A, действительно в 3—4 больше, чем таких, в которых наиболее горячие звезды принадлежат к типам O — B0 — B1 (ядра ассоциаций). Однако значительная доля скоплений со звездами типов B5 ... A является сравнительно богатыми звездами объектами: в них по нескольку сотен звезд. Следовательно, они не могут быть результатом развития ядер ассоциаций, почти всегда бедных звездами. Поэтому среди наблюдаемых скоплений, у которых наиболее яркие звезды принадлежат к типам B5... A, только сравнительно небольшое число бедных звездами скоплений могут быть бывшими ядрами ассоциаций. Поэтому число возможных «бывших» ядер не превосходит значительно число настоящих ядер. Это означает, что после распада ассоциаций ядра ассоциаций сами быстро распадаются, что, быть может, объясняется потерей массы членами ядра. Действительно, такая потеря массы должна приводить к расширению и, в конечном счете, к распаду скопления, если даже первоначальная полная энергия системы и была отрицательна.

В этой связи следует остановиться и на следующем вопросе: нет ли в Галактике таких ассоциаций, ядрами коих являются скопления, в которых наиболее горячие звезды принадлежат к типам B5 ... A (A-ассоциации)? По-видимому, такие ассоциации действительно существуют. Обнаружить их, однако, трудно, так как число звезд, принадлежащих к

поздним подразделениям типа В и к типу А, в общем галактическом поле очень велико и такие ассоциации не выделяются столь резко в проекции на небесную сферу. Имеется, однако, два случая, когда группировка звезд вокруг скопления упомянутого типа не вызывает у нас сомнений, т. е. мы имеем А-ассоциации. Одна из них — это звездная ассоциация вокруг М 11 в Щите.

В пользу того, что это А-ассоциация, говорит также один весьма важный факт, относящийся к скоплениям, не содержащим звезд ранних подразделений типа В, установленный В. Е. Маркаряном.

Оказывается, что некоторые из этих скоплений, содержащих звезды сравнительно поздних типов, расщеплены на две части таким образом, что между этими частями имеется коридор, не содержащий звезд.

Снимок одного из этих скоплений изображен на рис. 4 (см. вклейку к статье).

Такие системы не могут быть стационарными (установившимися) в том смысле, как это принято в статистической механике звездных систем. Они несомненно являются также сравнительно новыми образованиями. Очевидно, что расщепленность этих скоплений стоит в какой-то параллели с двухцепочной структурой ядер О-ассоциаций.

Таким образом, вновь подтверждается положение, высказанное нами еще в 1947 г., *что возникающие в Галактике звезды входят в диаграмму Рёсселя в разных частях главной последовательности этой диаграммы.*

Это положение подтверждается не только наличием в Галактике ассоциаций, но и таким важным фактом, как наличие в некоторых кратных системах типа Тrapeции Ориона компонентов, которые слабее главной звезды на несколько величин, и, следовательно, наверняка принадлежат к другому типу.

Возвращаясь к особенностям О-ассоциаций, мы должны отметить также то, что среди членов этих ассоциаций весьма значительный процент составляют спектрально-двойные звезды. Следовательно, вновь возникающие в О-ассоциациях звезды имеют большие вращательные моменты, что имеет, вероятно, большое космогоническое значение. Здесь мы подходим к комплексу важных вопросов, поднятых В. Г. Фесенковым, связанных с ролью ротационного фактора в жизни звезд и планетных систем.

Наконец, остается ответить на важные вопросы о том, каково то вещество, из которого формируются звезды, какова природа так называемых протозвезд?

Выше мы уже высказали предположение о том, что ассоциация в Лебедь, так же как и ассоциация Кассиопея II, содержит только что образовавшиеся группы звезд. Это предположение дает основание считать, что в этих ассоциациях могут существовать протозвезды, еще не

испытывавшие превращения в звездные группы. Если бы они были обнаружены, это продвинуло бы быстро вперед всю рассматриваемую проблему.

Следует обратить внимание на то, что в районах ассоциаций Кассиопея II и Р Лебеда расположены так называемые радиозвезды, т. е. практически точечные источники коротковолнового радиоизлучения. Трудно предполагать, что наблюдаемое радиоизлучение является первичным эффектом. Это скорее вторичное излучение, исходящее, возможно, от каких-то быстро летящих заряженных частиц, выделяемых телами, состояние которых сильно отличается от состояния обычных звезд. Не являются ли эти тела как раз протозвездами? На эти вопросы дадут ответ только дальнейшие исследования.

Но я боюсь вступить в такую область, где фактов сравнительно мало и начинается мир предположений. Существенно одно, что изучение звездных ассоциаций привело нас к открытию богатейшей совокупности новых фактов, имеющих самое тесное отношение к проблеме происхождения и развития звезд.

Все расширяющаяся работа наших строящихся и реконструируемых обсерваторий, несомненно, приведет к умножению этих сведений. Нам, советским астрофизикам, следует все шире разворачивать астрономические наблюдения такого характера, которые могут иметь решающее значение для разрешения космогонических проблем. С этой точки зрения особенно большое значение имеет вопрос об установке и использовании на наших обсерваториях крупных рефлекторов. Это приведет к новому гигантскому подъему наших советских астрофизических исследований, к разрешению проблем, имеющих огромное значение не только для астрофизики, но и для всей физики, для всего нашего материалистического мировоззрения.

Бюраканская астрофизическая обсерватория
Академии наук Армянской ССР

Примечание. В 1952 году в Москве состоялось всесоюзное совещание по вопросам космогонии, на котором В. А. Амбарцумян сделал доклад «О происхождении и развитии звезд и звездных систем». В докладе отражены как работы В. А. Амбарцумяна, так и работы других астрофизиков. После доклада состоялись многочисленные выступления участников совещания. Доклад В. А. Амбарцумяна и все выступления опубликованы в «Трудах второго совещания по вопросам космогонии» (Изд-во АН СССР, Москва, 1953).

О ПРОТОЗВЕЗДАХ*

(Представлено 4. IV 1953)

Теория звездных ассоциаций предсказала ряд явлений совершенно нового типа для астрономии. Так, ею были предсказаны: 1) положительность полных энергий О-ассоциаций и происходящий вследствие этого их распад [1], 2) положительность полных энергий по крайней мере значительной части кратных систем типа Трапеции и, как следствие этого, их распад [2] и 3) положительность полных энергий, а следовательно, и нестационарность большинства О-скоплений [3].

Истекший 1952 г. принес разнообразные подтверждения первых двух из этих предсказаний теории. Среди этих подтверждений следует отметить следующие открытия: а) обнаружение Блау [4] распада ассоциации Персей II (вокруг ζ Персея) и положительности ее полной энергии, б) открытие Б. Е. Маркаряном [5] положительности энергии и распада ассоциации Цефей II, в) установление П. П. Паренаго [6] положительности энергии кратной системы Трапеции (θ' Ориона), г) открытие Блау распада ассоциации в Ящерице [7]. Нет оснований сомневаться, что и третье из перечисленных предсказаний, сделанное Маркаряном, будет подтверждено.

Помимо подтверждения основных выводов, сделанных в свое время из теории звездных ассоциаций, получены также подтверждения того понимания наблюдательных данных, на котором эта теория основана.

Так, теория звездных ассоциаций с самого начала (1947—1948 гг.) исходила из предположения, правда, уже тогда довольно хорошо обоснованного методами звездной статистики, что наблюдаемая дисперсия фотометрических модулей расстояния в таких О-ассоциациях, как ассоциация в Лебеде или в Орионе (включая пояс Ориона), обусловлена *дисперсией абсолютных величин* звезд вокруг среднего значения, приписываемого данному спектральному подразделению, а не дисперсией

* ДАН АрмССР, 16, 97, 1953.

действительных расстояний. Определение спектральных абсолютных величин в группировках горячих гигантов Лебеда [8] и Ориона [9], произведенное путем нахождения класса абсолютной яркости по Моргану, привело к резкому уменьшению дисперсии наблюдаемых модулей расстояния звезд в этих ассоциациях. Это показало верность предположения о том, что все звезды этих ассоциаций с точностью до величины порядка радиуса ассоциации находятся на одинаковом от нас расстоянии.

Применение тех же методов определения абсолютных величин к звездам в звездных скоплениях, входящих в ассоциацию Лебеда, показывает, что эти скопления действительно находятся на расстоянии ассоциации, т. е. они на самом деле являются ядрами ассоциации Лебеда, как это впервые принимала теория звездных ассоциаций.

Таким образом, не остается и следа от представления о том, что якобы большая группировка горячих гигантов в Лебеде состоит из звезд проходящей здесь вдоль луча зрения целой спиральной ветви.

Наконец, в ряде близких внешних галактик типа Sc или неправильной формы обнаружены группы голубых звезд, во всех отношениях подобные O-ассоциациям нашей Галактики [10]. Только средние размеры этих групп оказывались примерно в 1,5 раза меньше средних размеров галактических O-ассоциаций. Теперь, после установления поправки Бааде к нульпункту кривой период-светимость для цефеид, исчезло и это расхождение в средних размерах. Более того, исправление этого расхождения рассматривается теперь как доказательство в пользу правильности поправки Бааде.

Таким образом, сам собой напрашивается вывод о том, что *механизм звездообразования во внешних галактиках типа Sc, а также в галактиках иррегулярной формы, в существенном, тот же, что и механизм звездообразования в нашей Галактике.*

В связи с таким всесторонним подтверждением развитых ранее представлений об O-ассоциациях встает задача дальнейшего углубления этих представлений и, в частности, вытекающих из этих представлений выводов о протозвездах.

Наличие в больших O-ассоциациях нескольких ядер, т. е. открытых скоплений, систем типа Трапедии и звездных цепочек прямо говорит о существовании в каждой из этих ассоциаций нескольких центров звездообразования. Наличие вне этих тесных групп звезд «поля ассоциации» свидетельствует о том, что в прошлом могли существовать и другие такие тесные группы, которые, однако, уже распались.

Поэтому можно утверждать, что в больших ассоциациях мы имеем дело с *разновременным* возникновением ряда тесных звездных групп, которые в дальнейшем распадаются.

Так как первоначальный объем каждой группы бывает достаточно мал, можно думать, что она возникает из тела сравнительно малого объема, с поперечными размерами, во всяком случае, меньшими 0.1 *парсек*. Эти предполагаемые, но еще не отождествленные с каким-либо классом известных объектов тела и были названы нами *протозвездами*. Новые данные о звездных ассоциациях лишь подтверждают представление о протозвездах, как телах малого объема и относительно большой плотности.

Но сторонники теории аккреции Хойля больше всего возражают как раз против этого представления, поскольку оно совершенно подрывает их выводы об одновременном образовании всех звезд Галактики в отдаленном от нас прошлом и о том, что все горячие гиганты являются старыми звездами.

Сущность их возражения против протозвезд сводится к следующему:

Если в объеме ассоциации перед началом в ней звездообразования было некоторое количество протозвезд, то система этих протозвезд, занимающая объем, равный объему ассоциации, должна была быть неустойчивой по отношению к приливным силам, исходящим из центра Галактики. Таким образом, система протозвезд, давших начало звездной ассоциации, не могла существовать сколько-нибудь долго, и протозвезды незадолго до превращения в звездные группы сами должны были возникнуть из чего-то другого. Таким образом, гипотеза о протозвездах, по мнению сторонников теории аккреции, заменяет трудность объяснения происхождения неустойчивых звездных ассоциаций такую же трудностью объяснения неустойчивой системы протозвезд.

Однако мы покажем, что о системе протозвезд, дающей начало ассоциации, можно предложить гипотезу, согласно которой эта система может существовать продолжительное время, во много раз большее, чем время пребывания отдельной звезды в ассоциации. Эта гипотеза нами излагается только для того, чтобы показать, что, вопреки мнению хойлистов, утверждение о существовании протозвезд сравнительно малого объема само по себе ни к каким новым трудностям не приводит. Что же касается самой предлагаемой гипотезы по существу, то к ней следует относиться как к предположению, которое может и не подтвердиться, поскольку оно не является прямым выводом из наблюдений или непосредственным однозначным следствием из теории звездных ассоциаций.

Мы допустим, что первоначальная система протозвезд занимала объем с линейным протяжением не в 120 *парсек* (средняя протяженность O-ассоциаций), а всего лишь с поперечником в 40 *парсек*. Большие же размеры ассоциации будем считать результатом удаления воз-

никающих звезд от центров их возникновения, которые получаются при превращении протозвезды в звездную группу с положительной полной энергией.

В этих условиях можно предположить, что группа протозвезд первоначально составляла стационарную систему. Так, если возьмем для определенности систему из $N = 100$ протозвезд, каждая из которых обладает массой порядка $m = 600$ масс Солнца, то такая система, обладая общей массой в 60 000 масс Солнца и радиусом $R = 20$ парсек, будет устойчива по отношению к приливному воздействию центра Галактики.

Мы можем далее сосчитать время релаксации в такой системе, когда под влиянием взаимных сближений устанавливается Максвелловское распределение скоростей [11]

$$T = 8,8 \cdot 10^5 \sqrt{\frac{NR^3}{m}} \frac{1}{\lg N - 0,45} \text{ лет.} \quad (1)$$

Подставляя сюда вместо N , m и R принятые их значения, найдем:

$$T = 1,7 \cdot 10^7 \text{ лет.}$$

Из времени релаксации мы можем сосчитать время, необходимое для распада скопления. Получим срок, продолжительностью около двух миллиардов лет. Таким образом, такая система протозвезд могла бы существовать достаточно долго. Однако следует думать, что продолжительность жизни этой системы ограничена как раз тем явлением, которое нас больше всего интересует, тем, что протозвезды на определенном этапе своего развития превращаются в неустойчивые и распадающиеся звездные группы.

Представляет интерес для будущего сравнения с наблюдениями то обстоятельство, что протозвезды, а следовательно, и возникающие из них группы звезд, должны обладать заметными скоростями по отношению друг к другу.

На основании теоремы вириала средняя квадратичная скорость протозвезд по отношению к центру тяжести рассмотренной в нашем примере гипотетической системы равна:

$$\sqrt{\overline{v^2}} = 4,63 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{M}{R}} \text{ км/сек,} \quad (2)$$

где M — полная масса системы, выраженная в массах Солнца, а R выражено в парсеках, откуда

$$\sqrt{\overline{v^2}} = 2,5 \text{ км/сек.}$$

Хотя иные исходные данные привели бы нас к несколько другим цифрам, мы все же можем отсюда заключить, что относительные скорости различных тесных групп внутри ассоциаций могут достигать нескольких километров в секунду.

В рамках изложенной гипотезы историю звездной ассоциации можно представить себе как последовательное превращение отдельных протозвезд первоначальной системы в распадающиеся группы звезд — скопления, трапеции и цепочки, а также в диффузные туманности.

При распаде рождающихся таким образом звездных групп звезды, их составляющие, получают столь значительные скорости (порядка 10 км/сек) что, преодолевая притяжение не только других звезд той же группы, но и системы в целом, уходят из ассоциации и входят в общее галактическое звездное поле. Очевидно, что звезды должны приобретать свою кинетическую энергию за счет разности внутренней энергии протозвезды и суммарной внутренней энергии всех возникших из нее звезд.

Таким образом, в каждый данный момент ассоциация состоит из: 1) протозвезд, еще не превратившихся в звезды, 2) тесных звездных групп — скоплений, трапеций и цепочек, 3) диффузной материи и 4) звезд уже распавшихся групп, еще не успевших уйти за пределы ассоциации.

Вследствие происходящего ухода возникающих звезд масса системы в целом со временем уменьшается. Легко показать, что при достаточно медленном уменьшении массы радиус системы будет возрастать, так что

$$MR = \text{Const.} \quad (3)$$

Согласно формуле (2), при этом средняя квадратичная скорость $\sqrt{\overline{v^2}}$ будет убывать обратно пропорционально радиусу.

Расширение системы может повести к тому, что расстояние между отдельными тесными группами в ассоциации может достигнуть ста парсек и более.

При такой картине время жизни ассоциации может во много раз превосходить промежутки времени, в течение которого звезды уже образовавшейся группы успевают уйти из нее и войти в общее звездное поле Галактики, так как на смену ушедшим звездам одних групп приходят другие. Ассоциация как бы питается звездами за счет дробления протозвезд.

В заключение следует повторить, что изложенная картина представляет собой лишь гипотезу, которая не основана на прямых наблюдениях и не вытекает из теории звездных ассоциаций. Возможно, что

она дает лишь отдаленное представление о действительных процессах. Но она показывает, что утверждение о возникновении скоплений и других тесных звездных групп из протозвезд, представляющих собой тела небольшого объема, не наталкивается на затруднения звездно-динамического характера.

Другой возможностью является гипотеза о происхождении всей ассоциации из единого тела, которое сперва дробится на протозвезды, а из последних уже возникают звездные группы. Эту гипотезу легко будет проверить, как только будут получены данные о групповых движениях звезд в ассоциациях.

Сейчас трудно разрешить также вопрос о размерах протозвезд: являются ли они телами, имеющими объем порядка объема глобул или гораздо меньше? Нам кажется, что дальнейшее изучение ассоциаций и звездных скоплений даст возможность разрешить и этот вопрос.

Бюраканская астрофизическая обсерватория
Академии наук Армянской ССР

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. А. Амбарцумян, *Астрономический журнал*, **26**, 8, 1949.
2. В. А. Амбарцумян и Б. Е. Маркарян, *Сообщения Бюраканской обсерватории*, **2**, 12, 1949.
3. Б. Е. Маркарян, *Сообщения Бюраканской обсерватории*, **5**, 31—32, 1950.
4. Блау, *VAN*, № 433, 1952.
5. В. А. Амбарцумян, Вводный доклад на симпозиуме по эволюции звезд стр. 15, издание АН СССР, М., 1952.
6. П. П. Паренго, *Астрономический циркуляр* № 135, стр. 6—7, Казань, 1953.
7. Оорт, *Expanding motions in groups of early-type stars*. Доклад на Римском симпозиуме по эволюции звезд. Рим, 1952.
8. Ромэн, *Aph. Journ.*, **114**, 492, 1951.
9. Шарплесс, *Aph. Journ.*, **116**, 251, 1952.
10. Г. Х. Шайн и В. Ф. Газе, *Известия Крымской астрофизической обсерватории*, **9**, 13, 1952.
11. Вывод приведенных здесь формул можно найти в изложении нашей теории разрушения открытых звездных скоплений, данном в книге: Чандрасекар, *Принципы звездной динамики*, стр. 206—216, М., 1948.

ВВОДНЫЙ ДОКЛАД НА СИМПОЗИУМЕ ПО ЭВОЛЮЦИИ ЗВЕЗД*

По предложению советских астрономов Международный астрономический союз организовал настоящий симпозиум по эволюции звезд. Эта проблема, так же как и все проблемы о происхождении и развитии небесных тел, глубоко волнует астрономов всего мира. Более того, все вопросы космогонии должны иметь огромное значение для развития правильного научного мировоззрения. Однако нам казалось, что обсуждение проблемы происхождения галактик, а также вопросов о происхождении планет и комет следует отделить от проблемы происхождения и развития звезд и ограничиться здесь лишь обсуждением этой последней проблемы. Конечно, вопросы, перечисленные выше, между собой связаны, но соображения практического удобства заставили нас ограничить рамки симпозиума проблемой эволюции звезд. Другие вопросы будут, естественно, также затрагиваться, но лишь постольку, поскольку это необходимо для разрешения основной проблемы.

В пользу того, что широкое обсуждение проблемы происхождения и развития звезд необходимо, говорит прежде всего то огромное разнообразие полученных из наблюдений фактических данных о звездах и звездных системах, которое накоплено современной астрономией, в частности астрофизикой.

Численные значения параметров, характеризующих физическое состояние звезды и ее химический состав, как, например, масса, светимость, радиус, вращательный момент, процентное содержание водорода в атмосфере, процентное содержание гелия и т. д., меняются от звезды к звезде. Точно так же весьма разнообразны численные значения параметров, характеризующих двойные и кратные звезды, открытые и шаровые скопления.

Огромное и все растущее богатство сведений о различных состояниях звезд и звездных групп должно позволить нам выделить в пространстве возможных состояний звезды (для одиночных звезд это будет,

* Доклад на VIII съезде МАС, Рим, 1952. Изд. АН СССР, М., 1952 (на русском, итальянском и французском языках).

грубо говоря, пространство значений M , L , R или просто диаграмма спектр — светимость) или звездных групп те линии, по которым идет развитие звезды или звездной группы. Для правильного определения линий, по которым идет развитие звезд, огромное значение имеет знание процессов, которые влекут за собой изменение изучаемых параметров. Так, фактически наблюдаемое истечение вещества и выбрасывание газовых оболочек из фотосфер горячих гигантов влечет за собой со временем уменьшение массы звезды и ее вращательного момента. Иными словами, исследование процессов, происходящих в звездах, должно дать возможность установить направление путей развития в пространстве состояний.

Приведем другой пример. Наличие относительных движений звезд в открытых звездных скоплениях влечет за собой случайные сближения звезд каждого скопления между собой, обмен кинетическими энергиями и приобретение отдельными звездами скорости, превосходящей по величине критическую, необходимую для ухода из скопления. Отсюда делается заключение, что, по крайней мере на некотором этапе развития, число членов скопления должно убывать со временем.

Таким образом, *заключения о путях развития звезд основываются на обобщении фактических данных*. Конечно, при этих обобщениях должны быть широко использованы известные законы механики, теоретической физики и звездной динамики. Более успешному обобщению фактических данных должны помогать различные гипотезы и схемы, без которых не может обойтись ни одно научное исследование. Но разработка этих гипотез и схем должна быть лишь средством для вывода на основе фактических данных *основных закономерностей и теоретических положений*, касающихся развития звезд и звездных систем, закономерностей, которые отражают объективную реальность процессов развития, происходящих в природе.

Современная научная звездная космогония уже твердо встала на путь *обобщения фактических данных*, получила прочную опору в данных, получаемых из наблюдений и, благодаря этому, достигла первых серьезных успехов.

Этот новый путь развития звездной космогонии коренным образом отличается от старого направления в космогонии, где в основу исследования ставилось *умозрение*. В классической космогонии самим предметом изучения являлись различные мыслимые схемы развития, основанные на различных предположениях о начальном состоянии и об основных силах, действующих в этом состоянии. Только окончательные выводы из разработанной таким образом схемы развития подлежали сравнению с наблюдениями.

История космогонических исследований последних лет показывает,

что первый из этих двух путей — трудный путь изучения и обобщения фактов — является плодотворным и обещающим. Уже сейчас это направление, приведшее, в частности, к разработке теории звездных ассоциаций, не только объяснило многие разнообразные факты, но и привело к *предсказанию новых фактов* и притом таких, которые качественно отличаются от того, что было ранее известно в звездной астрономии. В настоящее время мы имеем возможность констатировать, что многие из этих предсказаний нашли полное и, я бы сказал, поразительное подтверждение.

Старый путь построения гипотетических схем происхождения и развития звезд отличается тем, что он пытается сразу найти ответы на все основные вопросы звездной космогонии. Этот путь нашел новое развитие в работах Вейцекера (Германия), разрабатывающего теорию турбулентной дифференциации первоначальной газовой среды, Хойля и Литтльтона (Англия), разрабатывающих теорию аккреции, и Лебединского и Гуревича (СССР), разрабатывающих теорию гравитационной конденсации. Эти интересные попытки разрешения основных вопросов звездной космогонии, к сожалению, пока не дали плодотворных результатов, и было бы трудно отрицать, что, в частности, теория аккреции в ее теперешнем виде находится в резком противоречии с результатами наблюдений.

1. Неустойчивые системы и неустойчивые звезды

На какие же фактические данные современной астрофизики следует прежде всего обратить внимание при исследовании вопроса происхождения и развития звезд?

Нам кажется, что прежде всего внимание должно быть обращено на неустойчивые звездные группы (под звездными группами мы здесь понимаем системы, входящие в Галактику в качестве ее частей) и на звезды, находящиеся в неустойчивом состоянии.

Наблюдения указывают на существование в Галактике динамически неустойчивых звездных групп (открытые скопления, δ -ассоциации, звездные цепочки, кратные системы типа Трапеции Ориона) наряду с относительно устойчивыми группами (двойные звезды, кратные системы типа ϵ Лир).

Наблюдения указывают также на существование в Галактике, наряду с устойчивыми и стационарными звездами, неустойчивых звезд, быстро меняющих свое состояние (звезды типа Вольфа-Райе, Р Лебеда, новые звезды, звезды типа γ Кассиопеи и Плейоны).

Почему изучение неустойчивых состояний представляет особенно

10 Труды

большой интерес для космогонии? Известно, что важным двигателем всякого процесса развития в природе являются противоречия. Эти противоречия особенно ярко проявляются, когда система или тело находятся в неустойчивом состоянии, когда в них происходит борьба противоположных сил, когда они находятся на поворотных этапах своего развития. Поэтому как советские астрономы, так и многие астрономы других стран идут прежде всего в направлении изучения неустойчивых объектов. Это не значит вовсе, что следует заниматься только этими объектами. Но это означает, что объекты, находящиеся в неустойчивом состоянии, заслуживают особого внимания. За последние годы именно на этом пути изучения неустойчивых систем и неустойчивых звезд достигнуты серьезные успехи. Нельзя, например, отрицать, что если бы настоящее обсуждение было организовано на предыдущем съезде Международного астрономического союза в 1948 г., то оснований для разрешения вопросов о закономерностях развития звезд было бы гораздо меньше, а наши выводы по этому вопросу были бы крайне неопределенными.

2. Неравномерность в распределении звезд

Изучение распределения звезд в Галактике и в ближайших спиральных системах показывает крайнюю неравномерность этого распределения. Отдельными проявлениями этой неравномерности являются кратные звезды, звездные скопления и более широкие звездные группы. По имеющимся осторожным оценкам две трети всех звезд, находящихся в окрестности Солнца, входят в состав широких пар, где расстояние между компонентами порядка десяти тысяч астрономических единиц.

Между тем теория диссоциативного равновесия показывает, что при статистическом равновесии между процессами механического разрушения пар в результате возмущений от проходящих вблизи звезд поля и механического возникновения пар в результате тройных сближений (захват) число широких пар с взаимным расстоянием компонентов от 1000 до 10 000 астрономических единиц должно было бы быть в 10^8 раз меньше, чем наблюдается сейчас. Еще более разительный контраст получается, если мы рассматриваем пары с взаимными расстояниями компонентов от 10 до 20 астрономических единиц. Это огромное расхождение можно объяснить только тем, что в Галактике происходит или недавно происходило возникновение новых двойных и кратных звезд не в результате механических процессов, а в результате глубоких физических процессов космогонического характера, причем число вновь возникаю-

щих таким образом пар во много миллионов раз больше, чем число пар, возникающих в результате захвата.

Наряду с этим следует отвергнуть предположение, что все двойные и кратные звезды образовались в результате деления одиночных звезд, так как обычные звезды не обладают и не могут обладать моментом вращения, равным вращательному моменту такой системы, как, например, α Центавра или другие широкие пары. Вместе с тем нет никаких оснований предполагать различные механизмы образования широких и тесных пар. Более того, нет никакой определенной границы, разделяющей широкие и тесные пары. Поэтому гипотеза образования пар в результате деления одиночных звезд вообще неверна.

Таким образом, при объяснении кратных звезд мы должны отказаться и от гипотезы захвата и от гипотезы деления. Единственным выходом из этого положения следует считать допущение, что компоненты кратной системы возникают совместно из космического вещества, находящегося в дозвездной стадии развития.

Тот же самый вывод становится совершенно тривиальным, если применить его к проблеме происхождения открытых звездных скоплений. Из звездной динамики следует, что звездные скопления не могут образоваться в результате механического захвата. Наоборот, как это было в свое время показано докладчиком, механические процессы, в частности процессы сближений звезд между собой, ведут к постепенному разрушению скоплений. Точно так же очевидно, что скопление не могло образоваться из одной звезды путем деления.

Значит, и в этом случае мы приходим к неизбежному представлению о совместном происхождении группы звезд. Если так, то совместное происхождение различных групп звезд является общей закономерностью.

3. Звездные ассоциации

Если допустить, что звезды возникают группами, то нельзя без особых на то оснований считать, что полная энергия таких вновь возникающих групп должна быть всегда отрицательной. Правда, почти все изученные до сих пор системы (кратные звезды, открытые скопления) имели отрицательные энергии. Однако известно, что системы с положительной энергией не могут быть стационарными, они должны сразу же распадаться на расходящиеся более мелкие группы отрицательной энергии и на одиночные звезды, что влечет за собой кратковременность их жизни и сравнительную редкость их. Отсюда возникает представление, что одиночные звезды общего галактического поля, так же как и кратные системы с небольшим числом составляющих, могут быть продук-

тами распада возникающих в Галактике богатых групп звезд с положительной энергией. Если эта гипотеза справедлива и если звезды Галактики продолжают возникать и на настоящем этапе ее развития, то мы должны наблюдать в ней группы звезд с положительной энергией, т. е. группы совместно возникающих и расходящихся в пространстве звезд. Иными словами, мы должны наблюдать в Галактике, наряду со стационарными группами звезд, распадающиеся системы.

Именно такими распадающимися звездными группами являются звездные ассоциации. Факт их существования превращает высказанные выше две гипотезы — о продолжающемся в нашу эпоху процессе звездообразования и о групповом возникновении звезд — в твердо установленные закономерности развития звездного мира, в основные положения звездной космогонии. Столь важное значение звездных ассоциаций для проблемы эволюции звезд заставляет нас подробнее остановиться на них. За последнее время в СССР уделялось значительное внимание изучению двух типов звездных ассоциаций: О-ассоциаций и Т-ассоциаций.

О-ассоциации. Это группы горячих гигантов, диаметры которых заключены в пределах 30—200 парсеков, среди членов которых встречаются звезды типа В0 или более ранние.

Если наиболее ранние спектры, встречающиеся в группировке, принадлежат промежутку В1—В7, то такую группировку удобно выделить в особый класс В-ассоциаций. Однако основное наше внимание было уделено до сих пор О-ассоциациям.

Наиболее близкими к нам О-ассоциациями являются: ассоциация в Орионе на расстоянии около 330 парсеков от нас, ассоциация вокруг ζ Персея на расстоянии 600 парсеков и ассоциация Цефей II на расстоянии 600 парсеков. Среди более далеких ассоциаций по богатству звездами выделяются ассоциация вокруг χ и h Персея, ассоциации вокруг Р Лебеда и η Киля. Последний список, составленный в Бюраканской обсерватории, содержит 25 О-ассоциаций. Общее число О-ассоциаций во всей Галактике должно измеряться сотнями.

Характерная особенность О-ассоциаций заключается в наличии в них звездных скоплений, являющихся как бы ядрами этих ассоциаций. Так, ассоциация в Орионе содержит в своем составе скопление вокруг Трапедии Ориона и скопление NGC 1981. Ассоциация Цефей II содержит в своем составе скопление NGC 7160. Можно вычислить, пользуясь теорией вероятностей, что О-ассоциации не могут быть случайными сгущениями, возникшими в результате статистических флуктуаций в распределении звезд типов О и В. Точно так же они не являются кажущимися образованиями, вызванными особой прозрачностью галактического пространства в их направлениях.

Следовательно, это реальные системы звезд, имеющих общее про-

исхождение. Поэтому встает вопрос о степени устойчивости этих систем.

Наблюдения показывают, что в ближайших О-ассоциациях, кроме звезд О—В2 и более поздних подразделений типа В, встречаются также звезды типа В8—В9, как и звезды типа А. Поэтому, хотя в наших работах наличие группы звезд типов О-В2 служило основным признаком, по которому мы устанавливали существование О-ассоциаций в той или иной области пространства, в этих ассоциациях присутствуют также звезды, принадлежащие к более поздним подразделениям главной последовательности. В качестве примера можно привести ассоциацию Ориона, где имеются звезды типов В8—В9 и даже более поздние.

Однако весьма существенно, что функция светимости в О-ассоциациях резко отличается от функции светимости для общего звездного поля в том смысле, что относительное число звезд низкой светимости в О-ассоциациях гораздо меньше. Насколько позволяют судить имеющиеся данные, О-ассоциации в этом смысле сильно напоминают те открытые звездные скопления, в которых самые яркие звезды являются гигантами типа О или В0, т. е. О-скопления по классификации Маркаряна.

Хотя данных о функциях светимости О-ассоциаций в области весьма низких светимостей пока нет, все же указанное сходство с О-скоплениями позволяет произвести некоторую экстраполяцию функции светимости и на основании соотношения масса — светимость найти массу каждой ассоциации. Поскольку известны линейные размеры ассоциаций, можно определить и приближенное значение пространственной плотности в них. Пространственная плотность О-ассоциаций, вычисленная таким способом, оказывается примерно на один порядок или полпорядка ниже пространственной плотности окружающего звездного поля. Правда, мы должны учесть возможность серьезных положительных поправок. Так, например, академик Г. А. Шайн, сравнив распределение больших газовых туманностей в Галактике с распределением О-ассоциаций, фактически показал, что все богатые О-ассоциации (за исключением ассоциации, расположенной вокруг ζ и η Персея) содержат большие светлые диффузные туманности. Возможно, что в ассоциациях имеются и другие, например слабосветящиеся или темные, тела. Однако, если мы увеличим полученную на основании функции светимости оценку массы даже вдвое или втрое, мы все же получим плотность, не превышающую плотность окружающего звездного поля. Согласно критерию устойчивости, звездные системы, обладающие столь низкой средней плотностью, не могут находиться в стационарном состоянии. Они должны распадаться под действием дифференциального эффекта галактического вращения. Иными словами, система должна разрушиться под действием общего поля притяжения Галактики, ибо силы взаимного притяжения будут недостаточны для того, чтобы удержать ее члены в

первоначальном объеме. Для разрушения системы будет при этом достаточно нескольких десятков миллионов лет.

Но если бы разрушение звездных ассоциаций происходило только под действием дифференциального эффекта галактического вращения, то с течением времени они должны были бы принять сильно вытянутую форму. Наблюдения показывают, что в проекции на небо ассоциации иногда действительно вытянуты в направлении, лежащем в галактической плоскости. Но в ряде случаев эта вытянутость мало заметна. Так, у ассоциаций Персей I, Персей II и Цефей II вытянутость почти незаметна. Это возможно объяснить лишь тем, что причиной распада звездных ассоциаций является не только действие дифференциального галактического вращения, но и наличие собственных скоростей удаления наружу, полученных звездами в эпоху возникновения всей звездной группы. Более того, наличие этих скоростей необходимо предположить для того, чтобы объяснить, как система достигла состояния столь малой плотности, что стала подвергаться разрушению под действием дифференциального эффекта галактического вращения. Наличие достаточно больших «собственных» скоростей удаления членов ассоциации от ее центральной области должно говорить о том, что O-ассоциации являются системами, полная энергия которых по отношению к своему центру тяжести существенно положительна.

Только по прошествии значительного времени, когда система достигает очень больших размеров, изменения скорости, приобретенные под действием дифференциального галактического вращения, становятся величинами того же порядка, что и первоначальные скорости радиального удаления от центра, и система приобретает значительную вытянутость.

Именно этот ход рассуждений еще в 1948 г. привел нас к предсказанию явления расширения звездных ассоциаций (O-ассоциаций и ассоциаций других типов).

В этом году стали известны результаты некоторых исследований собственных движений членов звездных ассоциаций, подтвердивших предсказанное нами расширение в случае двух из трех ближайших O-ассоциаций.

Так, Блаау в Лейдене показал, что ассоциация вокруг ζ Персея, называемая нами Персей II, расширяется со скоростью

$$+ 0,0027 \frac{\text{секунд дуги}}{\text{градус в год}}$$

с вероятной ошибкой этой величины в 10 раз меньшей, т. е. равной

$$+ 0,00027 \frac{\text{секунд дуги}}{\text{градус в год}} .$$

Этот вывод получен им на основании изучения движений 17 звезд, входящих в ассоциацию. Он означает, что звезды ассоциации Персей II возникли $1,3 \cdot 10^6$ лет назад.

Маркарян в Бюракане, рассмотрев собственное движение 17 звезд типов O-B2, входящих в ассоциацию Цефей II, расположенную вокруг ρ Цефея, показал, что эта ассоциация расширяется со скоростью

$$\pm 0,0008 \frac{\text{секунд дуги}}{\text{градус в год}}$$

с вероятной ошибкой этой величины, равной

$$\pm 0,0003 \frac{\text{секунд дуги}}{\text{градус в год}}.$$

Поэтому возраст ассоциации Цефей II оценивается в 4,5 млн. лет.

Линейная скорость удаления звезд достигает в первом случае 12, а во втором — 8 км/сек.

В третьей из перечисленных ближайших ассоциаций — в ассоциации Ориона — мы имеем сложную картину движения. По-видимому, и здесь мы встречаемся с наличием явления расхождения звезд. Однако, в отличие от предыдущих двух случаев, дело не сводится к простому радиальному расширению из одного центра, на что впервые указал Гурзджян. Это следует поставить в связь со следующим обстоятельством.

Мы указывали выше, что звездные ассоциации имеют ядра, представляющие собой звездные скопления. Богатые O-ассоциации обычно имеют по несколько ядер. Как было упомянуто выше, ассоциация Ориона содержит два скопления: NGC 1981 и скопление вокруг Трапедии. Однако пояс Ориона, быть может находящийся ближе к нам, чем центральная часть ассоциации, является ядром еще одной группы звезд, входящей в ту же ассоциацию. Наконец, и цепочка ранних звезд, в которую входит λ Ориона, по-видимому, также входит в эту ассоциацию. По существу указанные две группы являются открытыми скоплениями, поэтому можно считать, что ассоциация Ориона содержит 4 ядра.

Совершенно очевидно, что ядра (скопления), наиболее яркие звезды которых образуют конфигурацию типа цепочки, не могут быть стационарными образованиями, поскольку такие цепочки механически неустойчивы. С другой стороны, сама Трапедия Ориона — неустойчивая кратная система, и поэтому она должна быть весьма молодым образованием, обладающим возрастом порядка 10^6 лет. Есть основание думать, что в таких ассоциациях, как ассоциация Ориона, мы имеем не один, а несколько центров звездообразования. В силу этого и картина расхождения звезд этой ассоциации должна быть более сложной. Вот почему схема радиального расширения не вполне пригодна для ассоциа-

ции Ориона и для других ассоциаций, обладающих несколькими ядрами. Поэтому для изучения расширения ассоциации Ориона необходимо произвести подробное и тщательное исследование.

В более далеких О-ассоциациях Галактики обнаружение явления расхождения звезд затрудняется тем, что дифференциальные собственные движения должны быть меньше ошибок в определении самих собственных движений. Поэтому крайне необходимо уточнение собственных движений в этих системах.

Оказывается, что существование цепочек горячих гигантов или кратных систем типа Трапеции Ориона — общее свойство О-ассоциаций. Под системами типа Трапеции Ориона мы понимаем не обязательно четверные звезды, образующие конфигурацию трапеции. Под условным названием систем типа Трапеции Ориона мы подразумеваем кратные системы, удовлетворяющие следующему условию: в них можно найти по крайней мере три таких составляющих, все три расстояния между которыми имеют одинаковый порядок величины. В частности, существуют системы типа Трапеции, в которых известно всего лишь три компонента.

Однако большинство тройных звезд не удовлетворяет приведенному определению, так как одно из расстояний, скажем АВ, бывает по порядку величины меньше двух других расстояний АС и ВС.

Системы типа Трапеции, насколько мы знаем, не устойчивы вообще, даже если их энергии отрицательны. Но мы считаем, что нет оснований допускать, что на самом деле эти энергии во всех случаях отрицательны. Поэтому значительная часть их может представлять собой системы с положительными энергиями, т. е. системы недавно возникших и в настоящее время расходящихся звезд. И в том и в другом случае возрасты кратных систем типа Трапеции не должны превышать по порядку величины 10^6 лет. Вот почему следует обратить особое внимание наблюдателей двойных звезд на желательность большого числа тщательных измерений кратных систем типа Трапеции Ориона.

Продолжительность жизни звездных цепочек, состоящих из О и В-звезд, несколько больше по порядку величины, чем продолжительность жизни систем типа Трапеции Ориона.

В богатых О-ассоциациях обычно встречаются и скопления, и цепочки, и трапеции. Это говорит о том, что звезды в ассоциациях возникают небольшими группами и притом одновременно и в разных местах. Процесс распада этих групп заслуживает детального изучения.

Хотя исследования систем типа Трапеции и звездных цепочек затрудняются вследствие существования оптических трапеций и оптических цепочек, однако наличие реальных цепочек и трапеций в О-ассоциациях не подлежит никакому сомнению.

Приведем один факт, ярко характеризующий эволюционную роль систем типа Трапеции.

Просмотр каталога двойных и кратных звезд Эйткена показывает, что в нем содержится 11 систем, в которых главные звезды ярче 5^m и которые являются кратными системами типа Трапеции. Из этих 11 главных звезд четыре оказались принадлежащими к типам O—B2, две B3, четыре B8—B9 и только одна A2. Таким образом, среди главных звезд рассматриваемых систем резко преобладают объекты самых ранних типов.

Перечислим здесь четыре системы типа Трапеции, главные звезды которых имеют спектры в интервале O—B2. Это прежде всего звезды ϵ Орциона и ζ^1 Ориона, входящие в ассоциацию Ориона. Третья звезда ζ Персея входит в упомянутую выше ассоциацию Персей II. Наконец, четвертая звезда τ Большого Пса входит в скопление NGC 2362, являющееся ядром O-ассоциации.

Заслуживает внимания присутствие в O-ассоциациях, наряду со звездами ранних типов, гигантских газовых туманностей. Конечно, это еще не доказательство того, что звезды ассоциации возникают непосредственно из туманностей. Но это указывает во всяком случае на эволюционную связь между звездами ранних типов и газовыми туманностями, о чем будет подробно сказано в докладе академика Шайна.

В некоторые O-ассоциации входят сверхгиганты самых поздних спектральных типов, среди которых выделяются полуправильные и неправильные переменные. Среди представителей этого класса объектов выделяется гранатовая звезда μ Цефея, которая определенно входит в хорошо изученную расширяющуюся ассоциацию Цефей II. Интересно, что изученная Бидельманом ассоциация вокруг γ и δ Персея, не содержащая заметной газовой туманности, в то же время имеет в своем составе ряд красных сверхгигантов, большинство которых является полуправильными переменными. Вместе с тем в этой ассоциации наблюдается наиболее высокий процент звезд типа B с эмиссионными линиями.

Указанные выше примеры позволяют сделать заключение о несомненном родстве горячих гигантов и сверхгигантов поздних типов.

Мы не будем перечислять здесь в подробностях свойства второго основного вида ассоциаций — T-ассоциаций. Упомянем только, что они состоят из переменных карликов типа T Тельца. В спектрах этих звезд наблюдаются яркие линии, а блеск испытывает неправильные изменения. Попытка объяснить T-ассоциации тем, что обычные карлики, попадая в пылевую туманность, приобретают эти физические свойства, не привела к разумным результатам. Приходится допустить, что переменность и наличие ярких линий являются свойствами, отражающими в какой-то мере внутреннюю физическую природу и состояние этих звезд.

В таком случае цепь рассуждений, аналогичная той, которую мы привели здесь в отношении О-ассоциаций, убеждает в том, что Т-ассоциации — это распадающиеся группы молодых звезд и что в этом случае мы опять встречаемся с групповым процессом звездообразования.

Интересно, что по меньшей мере в одном случае, именно в случае ассоциации Ориона, мы имеем сложение ассоциаций двух типов: О-ассоциации и Т-ассоциации. Об этом свидетельствует наличие очень большого числа переменных звезд типа Т Тельца в области, окружающей Трапецию Ориона. П. П. Паренаго произвел подробное изучение распределения этих переменных звезд в туманности Ориона.

Однако имеется довольно значительное количество Т-ассоциаций, которые не являются одновременно О-ассоциациями.

4. Два механизма звездообразования

На основании изложенного можно говорить о двух сходных между собой механизмах звездообразования, действующих в настоящее время с достаточной продуктивностью в Галактике. В О-ассоциациях возникают звезды высоких светимостей, в частности звезды верхней части главной последовательности от О до G; в Т-ассоциациях возникают звезды нижней части главной последовательности — карлики типов G — M.

Этот вывод находится в полном согласии со многими фактами, говорящими о различной природе указанных двух частей главной последовательности:

1. Звезды высоких светимостей, входящие в главную последовательность согласно Кукаркину, образуют в Галактике «плоские» подсистемы, в то время как карлики типов G — M образуют «промежуточные» подсистемы.

2. Согласно Паренаго, дисперсия скоростей, а также другие кинематические характеристики соответствующих подсистем в Галактике резко изменяются при переходе от верхней части главной последовательности к нижней. Это резкое изменение имеет место в ранних подразделениях типа G.

3. Согласно Паренаго, между двумя указанными частями главной последовательности на диаграмме спектр-светимость существует разрыв. Эти две части не связаны непрерывным образом между собой.

4. Согласно Паренаго и Масевич, само внутреннее строение звезд этих двух частей главной последовательности различно.

Звезды обеих частей главной последовательности, возникая в звездных ассоциациях, после кратковременного пребывания в них расходятся,

входя в состав общего галактического поля, где и проводят свою жизнь в течение миллиардов лет. Естественно поэтому, что число звезд, находящихся в ассоциациях, мало по сравнению с числом звезд поля.

С другой стороны, продолжительность пребывания звезд в стадиях O—B2 мала. Она сравнима с продолжительностью жизни самой ассоциации, т. е. порядка 10^7 лет. Поэтому эти звезды (особенно O-звезды) в большинстве своем входят в O-ассоциации. За время, нужное для того, чтобы покинуть ассоциацию, их спектральный тип успевает меняться. Естественно при этом предположить (см. дальше), что, изменяясь, молодые звезды ранних типов переходят в звезды более поздних типов и более низкой светимости, т. е. меньшей массы, поскольку у звезд ранних типов мы наблюдаем явление интенсивного выбрасывания вещества в окружающее пространство.

Заметим, что как в O-ассоциациях, так и в T-ассоциациях среди звезд наблюдается очень высокий процент двойных и кратных систем. Особенно велик процент широких пар в некоторых T-ассоциациях. В O-ассоциациях, наряду с визуально-двойными, наблюдается большое число спектрально-двойных. В этом отношении особенно интересны звезды Вольфа-Райе, весьма часто встречающиеся в O-ассоциациях.

Согласно статистическому исследованию Мирзояна, почти все звезды Вольфа-Райе должны быть двойными; только избирательность наших наблюдений приводит к тому, что двойственность обнаруживается лишь у части этих звезд.

Такое обилие кратных систем среди молодых звезд — прямое подтверждение сделанного выше на основании других соображений вывода о том, что *компоненты кратной системы имеют общее происхождение.*

5. О закономерностях дальнейшего развития сформировавшихся звезд

Теперь, когда мы пришли к выводу, что процесс звездообразования в Галактике продолжается, что он носит групповой характер и что существуют отдельные механизмы для образования звезд верхней и нижней части главной последовательности, встает вопрос о физическом состоянии вновь возникающих звезд и о закономерностях их дальнейшего развития.

При рассмотрении этих вопросов удобно пользоваться диаграммой спектр — светимость, могущей служить диаграммой состояний звезд. Конечно, при этом постоянно следует иметь в виду, что спектр и светимость не могут охарактеризовать состояние звезды исчерпывающим образом.

То, что в O-ассоциациях, наряду со звездами типов O—B2, мы име-

ем некоторое число звезд более поздних спектральных типов и более низких светимостей, указывает, что звезды могут входить в главную последовательность диаграммы спектр—светимость в различных местах этой последовательности. Однако функция светимости в O -ассоциациях и в звездных скоплениях резко отличается от функций светимости звезд общего галактического поля в том смысле, что в O -ассоциациях и скоплениях процент звезд низких светимостей относительно мал. Поскольку среди звезд общего поля средний возраст гораздо больше, чем в O -ассоциациях и скоплениях, можно сделать естественный вывод, что, после формирования в той или иной ассоциации, звезды продвигаются вниз вдоль главной последовательности. Вместе с тем, поскольку для звезд главной последовательности имеет место соотношение между массой и светимостью, мы неизбежно приходим к выводу, что звезды после своего формирования систематически теряют массу. При этом потеря массы вследствие испускания электромагнитного излучения за время жизни звезды должна быть пренебрежимо мала. Поэтому в этом вопросе основную роль должно играть корпускулярное излучение. Этот вопрос был подробно разработан в трудах академика В. Г. Фесенкова, Крата, Мартынова и Масевич. Результаты этих работ будут доложены в докладе Фесенкова. Я скажу об этом лишь несколько слов.

Наблюдаемое нами истечение вещества из многих звезд высокой светимости, выбрасывание ими оболочек, В. Г. Фесенков рассматривает как доказательство значительного изменения массы звезды за время ее жизни, особенно на ранних стадиях развития. Корпускулярное излучение звезд вызывает также потерю вращательного момента. Этим можно объяснить то, что с продвижением вниз, вдоль главной последовательности, средняя скорость вращения звезд быстро убывает.

Легко видеть, что интенсивность корпускулярного излучения определяет собой функцию светимости для звезд общего галактического поля. Остановимся на этом несколько подробнее. Состояние звезды на главной последовательности определяется одним параметром, например массой M или светимостью L . Поэтому и мощность корпускулярного излучения — dM/dt , зависящая от состояния звезды, определяется этим параметром.

Иными словами,

$$\frac{dM}{dt} = -f(L), \quad (1)$$

откуда

$$\frac{dM}{dL} \cdot \frac{dL}{dt} = -f(L),$$

или

$$\frac{dL}{dt} = - \frac{dL}{dM} f(L).$$

Но величина dL/dM также есть вполне определенная функция L , поэтому

$$\frac{dL}{dt} = -g(L), \quad (2)$$

где

$$g(L) = f(L) \frac{dL}{dM}.$$

Из (2) получается значение промежутка времени, в течение которого светимость изменяется на dL ,

$$- \frac{dL}{g(L)} = dt. \quad (3)$$

Примем, что Галактика находится в стационарном состоянии по отношению к процессу звездообразования и допустим на один момент, что все звезды возникают как объекты одной и той же высокой светимости L_1 . В этом случае число звезд со светимостями между L и $L + dL$ должно было бы быть пропорционально времени пребывания звезды на том этапе ее развития, когда светимость заключена в указанных пределах. Если обозначим дифференциальную функцию светимости через $\varphi(L)$, то, на основании (3), мы должны иметь:

$$\varphi(L) = \frac{C}{g(L)} = \frac{dM(L)}{dL} \cdot \frac{C}{f(L)}, \quad (4)$$

где C — постоянная, определяемая нормировкой функции светимости.

На самом деле звезды, возникающие в звездных ассоциациях, появляются с различной начальной светимостью L_1 . Если $\psi(L_1)$ есть дифференциальная функция светимости для совокупности звезд, возникающих в ассоциациях горячих гигантов, то вместо (4) мы должны иметь более общую формулу

$$\varphi(L) = \frac{dM(L)}{dL} \cdot \frac{C}{f(L)} \int_L^{\infty} \psi(L_1) dL_1. \quad (5)$$

Такое простое соотношение связывает между собой функцию светимости общего звездного поля Галактики для верхней части главной последовательности $\varphi(L)$ и функцию светимости звезд, возникающих в

ассоциациях горячих гигантов, $\psi(L_1)$. Поскольку обе функции $\varphi(L)$ и $\psi(L_1)$ могут быть определены из наблюдений, открывается возможность найти функцию $f(L)$, т. е. мощность корпускулярного излучения в зависимости от светимости.

Более того, Паренаго, используя введенное Фесенковым и подтвержденное Масевич простейшее допущение об $f(L)$, заключающееся в том, что

$$f(L) = aL,$$

где a — постоянная, и допуская, что начальная светимость L_1 у всех звезд была одна и та же, получил, на основании соображений, аналогичных изложенным выше, довольно хорошее представление наблюдаемой функции светимости $\varphi(L)$ для верхней части главной последовательности звезд общего галактического поля. С другой стороны, принятое Фесенковым выражение для $f(L)$ приводит к вполне разумным выводам о вращательном моменте Солнца в предыдущие эпохи и к разумным срокам для эволюции горячих гигантов.

Таким образом, все данные говорят о том, что, вступив в главную последовательность, звезды, возникающие в ассоциациях горячих гигантов, эволюционируют вдоль этой последовательности, продвигаясь до типа G.

У звезд солнечного типа истечение вещества становится настолько слабым, что дальнейшее значительное продвижение вдоль главной последовательности требует уже десятков миллиардов лет. Вместе с тем, начиная от типа G, в главную последовательность входит много молодых звезд, возникающих в T-ассоциациях. Как и насколько быстро происходит продвижение этих молодых звезд вдоль отрезка G—M, мы пока не можем сказать.

Следующий вопрос теории звездной эволюции заключается в следующем. Оказываются ли вновь возникающие звезды сразу после своего образования точно на главной последовательности или они переходят в главную последовательность после хотя бы кратковременного пребывания в других областях диаграммы спектр—светимость?

Независимо от конкретных теорий внутреннего строения звезд следует считать, что соотношение между массой и светимостью справедливо только для звезд, находящихся в состоянии механического и лучистого равновесия. Точно так же соотношение между светимостью и радиусом, выражаемое линией главной последовательности на диаграмме спектр—светимость, соответствует тем же условиям равновесия. Очевидно, что при возникновении звезды из других форм существования космического вещества требуется некоторое время для того, чтобы она пришла в состояние равновесия (точнее, в состояние стационарности)

и приобрела соответствующую светимость. Это должно найти свое выражение в отклонениях недавно сформировавшихся звезд как от соотношения масса—светимость, так и от линии главной последовательности на диаграмме спектр—светимость. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что линия главной последовательности на диаграммах спектр—светимость, составленных для О-ассоциаций и для открытых скоплений, отклоняется от нормальной или средней линии главной последовательности, особенно в отношении наиболее ранних звезд данной ассоциации или скопления. Это отклонение выражается в том, что звезды наиболее ранних типов указанных звездных групп имеют в среднем более высокие светимости, чем соответствующие звезды галактического поля. Точнее, левый верхний конец главной последовательности в этих системах, резко, почти вертикально поднимается вверх. При этом в разных системах этот левый верхний конец соответствует различным спектральным типам. В случае ассоциации Персей I этот вертикальный подъем в главной последовательности происходит в типах В0—В2, что очень хорошо видно на диаграмме, составленной Бидельманом. В случае ассоциации вокруг ζ Персея, тот же подъем происходит в типе В1. В случае Плеяд и Гиад он происходит в более поздних спектральных подразделениях. Факты этого рода, касающиеся открытых скоплений, подробно рассмотрены О. Струве.

Перечисленные факты говорят в пользу того, что при образовании новых групп звезд наиболее массивные из звезд переходят в состояние равновесия медленнее, чем звезды низкой светимости, и поэтому пребывают вне основной линии главной последовательности более длительное время.

Для молодых звезд отмечены также заметные уклонения от соотношения масса — светимость. Упомянем одно из этих уклонений. В тесных двойных звездах, которые содержат составляющую, имеющую спектр Вольфа-Райе, вторая составляющая часто имеет спектр О. Несмотря на то, что масса звезды Вольфа-Райе обычно в два-три раза меньше массы О-звезды, их фотографические светимости мало отличаются друг от друга, а балометрически составляющая Вольфа-Райе более яркая. Это означает, что звезда Вольфа-Райе, весьма далекая от состояния равновесия, имеет светимость, совершенно отличную от той, которая должна была бы быть согласно соотношению масса—светимость.

6. Другие объекты

Нарисованная выше картина, основанная на фактах звездной астрономии, оставляет в стороне несколько важных групп объектов. Остановимся вкратце на этом.

Красные и желтые гиганты и сверхгиганты. Выше мы видели, что в О-ассоциациях, наряду со звездами типов О—В, наблюдаются иногда холодные сверхгиганты типа М. Поскольку сверхгиганты типа М образуют плоские подсистемы, можно думать, что они являются теми или иными стадиями объектов, возникающих в О-ассоциациях.

Единство соотношения масса — светимость для ранних и для поздних звезд высокой светимости позволяет пойти в сторону обобщения сделанного выше утверждения. В самом деле, это единство говорит в пользу того, что внутреннее строение тех или других звезд в основном одинаково. Это означает, что холодный сверхгигант или гигант состоит из ядра, представляющего по существу высокотемпературную звезду главной последовательности, и протяженной оболочки сравнительно малой плотности и массы. Когда оптическая толщина этой оболочки мала, мы наблюдаем сочетание внешних признаков горячей и холодной звезды. Этим, а не наличием горячего спутника, следует объяснить, как показал Соболев, спектральные особенности звезд типа R Водолея.

Если эта точка зрения справедлива, то и Цефеиды следует считать некоторыми стадиями развития объектов, возникающих в О-ассоциациях. Цефеиды образуют плоскую подсистему, однако их распределение совершенно безразлично по отношению к О-ассоциациям. Последнее говорит о том, что свойства Цефеид приобретаются на сравнительно позднем этапе развития.

Звезды, образующие сферические подсистемы. К их числу относятся субкарлики, короткопериодические цефеиды и другие объекты. Сама диаграмма спектр—светимость для этих звезд говорит об условиях стационарности, отличных от условий стационарности звезд главной последовательности. Это, по-видимому, вызвано иным химическим составом. После работ Бааде по выяснению природы звездного населения центральной части туманности Андромеды можно считать правдоподобным предположение, высказанное Паренаго, Струве и др., что эти звезды возникают в центральной области Галактики и, таким образом, имеют происхождение, резко отличное от звезд главной последовательности.

Белые карлики. Принятие вывода о совместном происхождении компонентов кратных звезд и звездных скоплений заставляет считать, что механизм возникновения белых карликов может быть тот же, что и механизм возникновения звезд плоских подсистем, поскольку довольно часто белые карлики являются компонентами кратных звезд, входящих в плоские подсистемы. Возможно, впрочем, что они возникают также совместно с красными карликами. Однако дальнейшее развитие этих объектов отличается от развития звезд главной последовательности.

Планетарные туманности. Новые. Сверхновые. Вопросы генезиса

этих сравнительно редких объектов пока мало разработаны. Возможно, что по величине своей массы эти объекты резко отличаются от обычных звезд. Я могу сослаться здесь на работы проф. Мустеля. Согласно этим работам, массы новых и сверхновых должны быть во много раз больше масс обычных звезд, светимость которых равна светимости этих объектов в минимуме их блеска.

Открытые скопления. Теория звездных ассоциаций заставляет частично изменить имевшиеся до сих пор представления о динамике открытых скоплений. Наблюдения показывают, что большинство скоплений типа О входит в О-ассоциации. Однако ассоциации подвержены быстрому распаду. Поэтому, если О-скопления остаются в течение долгого времени стационарными системами, мы должны были бы наблюдать в Галактике много скоплений, являющихся продуктом эволюции О-скоплений. При этом очевидно, что за время распада ассоциаций спектральный тип наиболее ранних звезд скопления должен был бы измениться.

Согласно Маркарян, О-скопления отличаются от В-скоплений и А-скоплений крайней бедностью звездами. Поэтому мы должны были бы наблюдать очень много бедных скоплений, бывших ранее О-скоплениями. Однако наблюдаемые А-скопления очень богаты звездами, а В-скопления занимают в этом отношении промежуточное положение. Остается допустить, что с течением времени не только понижается светимость членов О-скоплений, но меняется и геометрическая структура их: либо они совершенно рассеиваются в пространстве, либо расширяются настолько, что становятся незаметными на больших расстояниях. В обоих случаях получается, что О-скопления нестационарны. Возможно, что имеет место рассеяние скопления вслед за рассеянием всей ассоциации. Это значит, что О-скопления могут быть системами, обладающими положительной энергией. Это не должно казаться очень удивительным. Если раньше, наблюдая открытые скопления, мы непосредственно делали вывод об отрицательности их энергии, об их стационарности, то этот вывод основывался на предполагаемой большой продолжительности существования скоплений, в пользу чего говорила многочисленность этих объектов. По отношению к О-скоплениям этот ход рассуждений не обязателен. Наоборот, наличие в них звездных цепочек и кратных систем типа Трапеции говорит о том, что они скорее являются нестационарными объектами. Поэтому возможно, что многие из них обладают положительной энергией.

7. Из чего возникают звездные группы

Выше мы не останавливались на вопросе, из чего возникают звезды, входящие в звездные ассоциации. Факты, приведенные в докладе

академика В. Г. Фесенкова, говорят в пользу возникновения звезд из волокон и сгустков диффузного вещества. Они говорят вновь о групповом характере звездообразования. Данные, приводимые академиком Г. А. Шайном, подтверждают, что процесс звездообразования тесно связан с развитием диффузных туманностей. При разрешении рассматриваемого вопроса следует также иметь в виду существование таких объектов, как глобулы и радиозвезды. В свою очередь эти два типа объектов связаны с диффузной материей. Исследование связи всех этих форм существования материи несомненно приблизит нас к выяснению механизма образования звездных групп.

8. Об аккреции

Представленный выше обзор, основанный на обобщении фактических данных о звездах, находится в резком противоречии с теорией аккреции, выдвигаемой проф. Хойлем и его последователями.

Согласно теории аккреции, звезды постоянно приобретают массу за счет межзвездного вещества. Развитие звезд главной последовательности идет в направлении, противоположном изложенному выше, а горячие гиганты являются старыми звездами, захватившими большую массу.

Кратные звезды, согласно этой теории, возникают из широких кратных систем в результате прироста массы. В свою очередь широкие кратные звезды образуются в результате действия механизма захвата.

Однако установление большой роли светового давления в линии L_{α} , когда мы имеем дело с газовыми массами, окружающими звезды высоких температур, ставит под сомнение самую возможность захвата газового вещества звездами типа В и О, поскольку световое давление будет в результате превосходить притяжение.

К сожалению, все те факты, о которых мы говорили выше, также противоречат теории аккреции.

Ей противоречит само существование звездных ассоциаций. Ей противоречит их расширение. Ей противоречит то, что существенный процент звезд О—В0 находится в компактных, но сравнительно бедных скоплениях. Ей противоречит само существование кратных систем типа Трапедии и звездных цепочек. Ей резко противоречит существование таких кратных систем, как γ Андромеды, в которой вокруг главной звезды А третьей величины на расстоянии $10''$ обращается тесная пара ВС с расстоянием $BC = 0,35''$, состоящая из компонентов 5 и 6-й величины, или как Ригель (β Ориона), у которого два визуальных спутника В и С образуют тесную пару из двух звезд, каждая из которых на восемь

величин слабее главной звезды, причем расстояние ВС в 50 раз меньше, чем расстояние от А до ВС.

Недостаток времени не позволяет мне остановиться на других теориях, также построенных по образцу старых космогонических теорий, на основе умозрения.

К сожалению, и они оказываются не в состоянии объяснить факты. Между тем изложенная в настоящем докладе концепция не только является естественным разумным обобщением всех указанных фактов, но предсказывает, в свою очередь, новые факты. Из предсказываемых таким образом новых фактов, еще окончательно не подтвержденных наблюдениями, следует упомянуть неустойчивость систем типа Трапеции Ориона и расхождение звезд Т-ассоциаций.

9. Заключение

В настоящее время данные астрономических наблюдений уже позволяют вскрыть многие закономерности происхождения и развития звезд. Большинство закономерностей, о которых говорилось выше, установлено впервые астрономами Советского Союза. При установлении этих закономерностей мы, советские астрономы, опираемся на огромный фактический материал, собранный на астрономических обсерваториях всех стран мира, и на теоретические труды ученых различных национальностей. Вот почему мы придаем огромное значение мирному сотрудничеству астрономов всего мира. Относясь с глубоким уважением к трудам подлинных ученых, истинных тружеников науки, мы считаем, что совместная разработка больших научных проблем, в том числе такой великой проблемы, как проблема развития небесных тел, будет способствовать делу культурного сближения народов, делу взаимного понимания между ними.

Это будет наша скромная лепта в благородное дело укрепления мира во всем мире.

Примечание. Космогонические взгляды зарубежных астрофизиков (в частности, упомянутых выше) изложены в книгах О. Струве «Эволюция звезд» (Изд-во иностр. литературы, 1954) и Ц. Пэйн-Гапошкиной «Рождение и развитие звезд» (Изд-во иностр. литературы, 1956).

О ПРОИСХОЖДЕНИИ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД*

Резюме: В свете наших современных знаний о звездных ассоциациях рассмотрена проблема происхождения двойных звезд.

В наших исследованиях звездных ассоциаций мы пришли к заключению, что образование звезд продолжается и в настоящей стадии развития нашей Галактики. Предсказанное этой теорией расширение вновь возникающих групп звезд было подтверждено Блаау и другими астрономами. Теперь очевидно, что звезды, как правило, возникают группами в пределах сравнительно малых объемов. Весьма интересно обсудить возникновение двойных звезд в свете новых фактов, относящихся к групповому звездообразованию.

Астрономия двойных звезд имеет неисчерпаемые запасы наблюдательных данных. Большинство из них несомненно должно быть использовано в будущем для развития детальной теории происхождения двойных звезд. Мы здесь укажем на следующие три факта:

1. Как было показано нами, в Галактике не существует диссоциативного равновесия между двойными и одиночными звездами (Амбарцумян, 1937). Число двойных звезд намного больше ожидаемого, при допущении диссоциативного равновесия. Число двойных звезд с полуосьями орбит в пределах от 100 до 1000 астрономических единиц приблизительно в 10^8 раз больше, чем должно было быть при диссоциативном равновесии (Амбарцумян, 1947).

2. Угловые моменты двойных звезд относительно центров тяжести их очень велики. Они заключены между значениями от близких к угловым моментам звезд с чрезвычайно большими скоростями вращения (тесные пары) до в 1000 раз больших (широкие пары).

3. Нет резкого различия между тесными и широкими парами, поскольку подразделение двойных звезд на визуально-двойные и спектроскопически-двойные обусловлено только методом наблюдения. Поэтому

* On the Origin of Double Stars. *Vistas in Astronomy*, Vol. 2, p. 1708, 9516.

теория происхождения двойных звезд должна объяснить происхождение как широких, так и тесных пар.

Первый из вышеуказанных фактов опровергает предположение относительно происхождения двойных звезд (по крайней мере наблюдаемых двойных звезд) в результате захвата в галактическом звездном поле. Здесь мы имеем в виду только такие захваты, которые могли иметь место при тройных сближениях. Как только, благодаря процессу захвата, процент двойных звезд достигнет величины, предсказанной теорией диссоциативного равновесия, дальнейшее возрастание их числа прекратится, потому что число пар, возникающих в результате захвата, будет равно числу пар, которые будут разрушаться в результате противоположных процессов (сближение пары со звездой поля).

Второй и третий факты опровергают предположение о происхождении двойных звезд в результате деления отдельных звезд. В соответствии с законом сохранения, моменты пар, согласно этой гипотезе, не могут превышать угловые моменты отдельных звезд с чрезвычайно высокими скоростями вращения. Это, однако, противоречит наличию больших угловых моментов у широких пар.

Наши выводы относительно ошибочности как гипотезы захвата, так и гипотезы деления отдельной звезды правильны, пока мы можем пренебречь эффектами внешнего воздействия на развитие двойной звезды в течение ее жизни после ее образования.

Говоря о внешних возмущениях, мы должны иметь в виду два возможных типа возмущения: вызванные приближением звезд поля и обусловленные влиянием межзвездной среды.

Если возмущения, вызванные прохождением звезд поля, в окрестностях звезды очень велики, то можно было ожидать, что это, прежде всего, приведет к диссоциативному равновесию. Однако наблюдаемое сильное отклонение от диссоциативного равновесия указывает на незначительную роль таких возмущений, по крайней мере, в случае пар с большими полуосями орбит до 10 000 астрономических единиц. Поэтому такие причины едва ли могут играть какую-либо существенную роль в установлении наблюдаемого закона распределения угловых моментов и элементов орбит двойных звезд. Воздействие внешних факторов может быть значительным в случае широких пар с расстояниями между членами пары выше 20 000 астрономических единиц. Такие пары, однако, не играют существенной роли в астрономии двойных звезд.

Влияние аккреции диффузной межзвездной среды было изучено Хойлем. Явление аккреции должно привести к уменьшению большой оси орбиты, в соответствии с чем широкие пары должны стать тесными, а компоненты пары должны стать более массивными. Можно было бы поэтому предположить, что двойные звезды образуются в результате

захвата и в начале составляют широкие пары с большими полуосями порядка 10^5 астрономических единиц, преобразуясь впоследствии, благодаря аккреции, в тесные пары, не имея времени для разрушения вследствие прохождения соседних звезд.

Наблюдения показывают, что существуют тройные звезды со следующей структурой: вокруг массивной главной звезды и на большом расстоянии от нее вращается тесная двойная, состоящая из двух звезд с малыми массами. Примером такого триплета может быть β Ориона. С точки зрения теории аккреции следует, что центральная звезда, сильно увеличившаяся в массе, не смогла приблизить к себе своих слабых спутников, тогда как слабые спутники смогли сблизиться, несмотря на малое увеличение их массы.

В этом случае также довольно трудно объяснить и наличие более или менее тесных пар, состоящих из карликов.

Таким образом, мы должны отвергнуть как гипотезу захвата в результате случайного тройного сближения в галактическом звездном поле, так и гипотезу деления индивидуальных звезд. Единственным возможным выводом является допущение общего происхождения компонентов двойной звезды из протозвездного состояния материи. Такой вывод хорошо согласуется с предположением группового образования звезд. Поскольку звезды в ассоциациях образуются группами, то следует принять, что таким же образом могут формироваться и двойные звезды.

Следующие факты говорят в пользу приведенной выше точки зрения: 1) в ассоциациях горячих гигантов (О-ассоциации) мы наблюдаем значительное число как широких, так и тесных пар (число тройных и кратных звезд также велико); 2) среди членов Т-ассоциаций мы наблюдаем необычайно большой процент визуальных пар.

Таким образом, кажется очень вероятным, что в процессе формирования звездных групп некоторые звезды возникают в виде пар, триплетов, квартетов и т. д.

Можем ли мы в настоящее время более детально развить это предположение? Мы думаем, что дальнейшее исследование звездных ассоциаций позволит нам сделать это в ближайшем будущем.

Существует, однако, одно весьма важное, по нашему мнению, обстоятельство, на которое должно быть обращено внимание уже в настоящее время.

В некоторых звездных ассоциациях мы наблюдаем кратные системы типа Трапеции Ориона. Системы этого типа являются такими кратными звездами, в которых мы можем выделить, по крайней мере, три компоненты, расстояния между которыми имеют одинаковый порядок величины. Я высказал, вместе с Маркаряном, мысль, что значительная

часть систем типа Трапеции могла бы обладать положительной энергией. Это означает, что такие системы должны немедленно распасться. Паренаго показал (1953), что наблюдения Трапеции Ориона, проведенные в течение более 100 лет, свидетельствуют о том, что ее энергия определенно является положительной. Таким образом, некоторые кратные звезды образуются в ассоциациях как системы с положительными энергиями.

Избыток двойных звезд в ассоциациях позволяет нам предположить, что некоторые такие звезды распадаются до их выхода из ассоциации. Если так и если обыкновенные двойные звезды, которые встречаются в галактическом поле, образуются в ассоциациях, то естественно прийти к следующему выводу: в ассоциациях, помимо пар с положительной энергией, образуются пары также и с отрицательной энергией; пары с положительной энергией распадаются в пределах ассоциации или в ее окрестностях; пары же с отрицательной энергией после выхода из ассоциации образуют обычные двойные звезды звездного поля.

Это первые выводы, полученные нами на основе новой идеи, относящейся к происхождению двойных звезд.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. А. Амбарцумян, Астр. журн., **14**, 207, 1937.
2. В. А. Амбарцумян, Эволюция звезд и астрофизика, 1947.
3. П. П. Паренаго, Астр. журн., **30**, 249, 1953.

О ПРОБЛЕМЕ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЗВЕЗД*

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

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

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

* Вестник АН СССР, 11, 45, 1957.

происхождения звезд и звездных систем. В дальнейшем это привело к очень ценным результатам.

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

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

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

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

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

различия в химическом составе, наличия магнитных полей, истечения вещества из атмосферы звезд и т. д.

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

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

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

для какой-либо звезды, мы говорим, что построена модель ее внутреннего строения.

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

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

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

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

Сочетание звездно-динамических методов исследования с тщатель-

ным изучением физической природы звезд, входящих в звездные группы, находящиеся на различных этапах развития, дало возможность значительно расширить получаемые космогонические результаты.

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

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

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

Чем больше мы проникаем в глубины мирового пространства, тем больше мы встречаем чрезвычайно своеобразных явлений, объяснение которых возможно лишь на основе изучения наиболее интимных, обычно непосредственно себя не проявляющих свойств элементарных частиц,

которые только сейчас вскрываются современной физикой или будут вскрыты в более или менее близком будущем.

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

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

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

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

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

Каков возраст звезд? До середины 30-х гг. применявшиеся методы не приводили к правильной оценке возраста звезд. Впервые правильная

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

Оказывается, что наблюдаемое отношение в десятки миллионов раз превосходит это равновесное значение. Отсюда следует, что в Галактике диссоциативное равновесие между одиночными и двойными звездами далеко еще не наступило. Иными словами, звезды в Галактике существуют более короткое время, чем необходимо для установления диссоциативного равновесия. Можно показать, что возраст звезд, оцениваемый этим путем, меньше десяти миллиардов лет. Таким образом, был установлен верхний предел для возраста звезд. С другой стороны, геохимические данные говорят о том, что возраст Земли, а следовательно и Солнца, являющегося типичной звездой, не меньше нескольких миллиардов лет. Поэтому можно считать, что указанная верхняя граница не очень далека от действительного возраста.

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

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

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

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

Устойчивы ли звездные скопления? Изучение многих звездных скоплений, например таких, как Плеяды, показало, что они находятся в установившемся состоянии, т. е. несмотря на перемещения отдельных звезд внутри скопления, пространственное распределение звезд в нем не меняется, так как на место уходящих из данного элемента объема одних членов скопления приходят другие. Спрашивается, как долго может сохраняться такое установившееся состояние, какие причины могут его нарушить. Звездинодинамические исследования показали, что такой причиной должны являться случайные тесные сближения между звездами скопления. При этих сближениях они обмениваются энергией. При некоторых сближениях прирост кинетической энергии одной из звезд может оказаться настолько большим, что звезда преодолеет притяжение всего скопления и уйдет из него. Такие процессы ухода звезд редки, но по истечении достаточно длительного промежутка времени

скопление все же должно становиться беднее и прийти к окончательному распаду. Можно рассчитать время, необходимое для распада скоплений типа Плеяд, Гиад и других. Оно оказывается порядка нескольких миллиардов лет, но для некоторых скоплений оно короче и измеряется всего несколькими сотнями миллионов лет. Это означает, что различные скопления могли возникнуть на разных этапах жизни галактики. Но самым интересным выводом из этих исследований, в то время еще недостаточно подчеркнутым, было то, что некоторые одиночные звезды Галактики должны быть выходцами из скопления, т. е. что и они возникли в группах.

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

Эти возрасты в тысячи раз меньше, чем возраст Галактики. Это означает, что мы имеем здесь дело буквально с новорожденными звездами. Для возраста Т-ассоциаций еще не удалось найти столь точной оценки, но, по косвенным данным, их возраст должен быть порядка одного-двух миллионов лет.

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

Все ли звезды Галактики возникли в ассоциациях? Как известно, часть звездного населения Галактики очень сильно сконцентрирована к плоскости ее симметрии. Это звездное население получило название населения первого типа. Другая часть звезд мало концентрируется вокруг плоскости симметрии, и она получила название населения второго типа. Реальная картина гораздо сложнее. Ей более соответствует описание Галактики как совокупности взаимопроникающих подсистем звезд, имеющих разное пространственное распределение. Населению первого типа соответствуют «плоские» подсистемы, а населению второго типа — «сферические» подсистемы. Однако имеются и промежуточные, т. е. не плоские, но достаточно сплюснутые подсистемы звезд. Звездные ассоциации сосредоточены в плоскости Галактики, и возникающие в них звезды входят в состав плоских и в некоторых случаях в состав промежуточных подсистем. Но они не порождают звезд сферических подсистем. Мы наблюдаем в Галактике большое число ассоциаций, но так как жизнь звездных ассоциаций коротка, то за все время существования Галактики могли появиться и рассеяться сотни тысяч, а может быть и миллионы ассоциаций. Эти числа достаточно велики для того, чтобы сделать правдоподобным утверждение, что подавляющая часть населения плоских, а может быть и промежуточных подсистем возникла в звездных ассоциациях. Таким образом, мы приходим к выводу, что для населений этих подсистем групповое возникновение в ассоциациях является закономерностью. Что касается звезд сферических подсистем, то они наверняка возникли не в ассоциациях. Многие из них сосредоточены в шарообразных звездных скоплениях. Можно утверждать, что звезды, входящие в каждое шарообразное скопление, возникли совместно. Вполне возможно, что некоторые шарообразные скопления были неустойчивыми образованиями и рассеялись, войдя таким образом в состав общего звездного поля сферических подсистем. Поэтому вполне возможно, что и для этих звезд имеет место какой-то вариант законо-

мерности группового звездообразования. Однако это нуждается в подтверждении.

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

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

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

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

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

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

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

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

Изложенная только что точка зрения, может быть, не вполне соответствует истинному положению дел. Вполне вероятно, что в действительности все обстоит гораздо сложнее. Однако этой точкой зрения можно пользоваться пока как рабочей гипотезой. Мы будем называть ее гипотезой о протозвездах и помнить о том, что она имеет еще весьма примитивную форму.

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

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

Изучение этих переменных звезд привело за последние годы к поразительным результатам. Оказалось, что в них наблюдаются совершенно своеобразные физические явления, о которых мы вкратце упо-

мянем ниже. В рамках введенной выше рабочей гипотезы о протозвездах эти явления и процессы следует толковать как некоторые проявления дозвездного вещества, еще оставшегося в недрах молодых звезд.

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

В то время как излучение подавляющего большинства стационарных звезд истолковывается как тепловое (или «температурное»), значительная часть излучения нестационарных звезд, как выясняется, не является обычным тепловым излучением. Увеличение блеска часто не сопровождается повышением температуры фотосферических слоев звезды. Нетепловое излучение проявляется в форме так называемой «непрерывной эмиссии», которая возникает на внешней границе атмосферы звезды или даже вне ее атмосферы, но обладает часто мощностью потока энергии, сравнимой с тепловым излучением, идущим из фотосферических слоев. У вспыхивающих звезд нетепловое излучение выделяется главным образом во время вспышки, как бы в результате грандиозного взрыва. Попытки найти источники энергии этого излучения привели к заключению, что они не могут постоянно находиться во внешних слоях звезды. Приходится допустить, что запасы связанной энергии доставляются время от времени, а в некоторых случаях непрерывно, непосредственно из внутренних слоев звезды на границу и даже за границу звездной атмосферы, и уже там происходит процесс освобождения энергии. Поскольку температура той области, в которой происходит выделение энергии, очень низка, мы, безусловно, не имеем здесь дела с термоядерными реакциями. Благодаря какому-то неизвестному процессу происходит образование большого числа частиц, излучающих непрерывный спектр. Имеются основания думать, что одним из механизмов излучения может быть излучение релятивистских электронов в звездных или околозвездных магнитных полях. Однако против этого механизма выдвигаются некоторые возражения, и сейчас нельзя считать вопрос решенным. Существенно, что выделение столь больших количеств энергии, или столь большого числа частиц с высокой энергией не получило до сих пор объяснения на основе известных ядерных процессов. Поэтому можно выдвинуть предположение, что выносимое из внутрен-

них слоев звезды вещество представляет собой какую-то часть остатков дозвездной материи, о которой говорилось выше. В таком случае возможно, что мы имеем дело также с одновременно происходящим процессом образования элементов. Факт наблюдения в атмосферах звезд типа Т Тельца линии лития, который в условиях внешних слоев этих звезд должен был бы весьма скоро исчезнуть, непосредственно свидетельствует о том, что запасы литиевых атомов возобновляются. Это как будто подтверждает предположение об образовании элементов. Здесь уместно вспомнить также о других звездах, не входящих в О- и Т-ассоциации, но тем не менее также являющихся молодыми объектами,— о звездах типа S. Это тоже переменные звезды, и многие из них показывают неправильные изменения блеска. В их спектрах наблюдаются интенсивные линии технеция, который, как известно, не имеет стабильных изотопов и на Земле в естественном состоянии не встречается. И в этом случае мы должны предполагать постоянное возобновление запасов атомов технеция в атмосферах.

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

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

Наблюдения показали, что из центральной звезды Крабовидной туманности вырываются сгустки частиц, обладающих большими скоростями, которые затем дают непрерывную эмиссию. Здесь непосредственно наблюдается та картина, к которой мы пришли при излучении нестационарных звезд на основании косвенных данных. Энергия указанных сгустков ничего общего не имеет с обычными источниками энергии в звездных атмосферах. По-видимому, и здесь энергия выделяется

в результате превращений, испытываемых дозвездным веществом. Таким образом, слабая звезда, находящаяся в центре Крабовидной туманности, вовсе не является обычной звездой. Она служит источником совершенно необычных процессов и, согласно с приведенной выше рабочей гипотезой, может оказаться остатком протозвезды. Кстати, Крабовидная туманность образовалась в результате взрыва Сверхновой, происшедшего в 1054 г., т. е. почти на наших глазах. Эта туманность в настоящее время расширяется со скоростью 1500 км/сек.

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

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

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

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

Нам кажется, что прямым доказательством этого является существование струи, выходящей из центра гигантской галактики NGC 4486

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

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

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

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

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

наблюдая радиогалактику в Лебедь, имеющую два ядра и испускающую в тысячи раз более интенсивное радиоизлучение, чем другие радиогалактики.

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

НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ПРОЦЕССЫ
В ЗВЕЗДАХ

ЯВЛЕНИЕ НЕПРЕРЫВНОЙ ЭМИССИИ И ИСТОЧНИКИ ЗВЕЗДНОЙ ЭНЕРГИИ*

До настоящего времени наши представления о природе источников звездной энергии строились чисто умозрительным путем. Предполагалось всегда, что эти источники действуют только в достаточно глубоких, совершенно скрытых от непосредственного наблюдения слоях звезд. Поэтому естественно, что исследователи стали на путь построения различных «моделей» звезд, основанных на тех или иных предположениях о природе источников звездной энергии. К сожалению, нельзя констатировать, что этот путь привел к успеху. Принятая в настоящее время гипотеза о термоядерных реакциях, как источниках звездной энергии, не дала плодотворных результатов. Достаточно сказать, что для объяснения каждой точки на диаграмме спектр—светимость приходится подбирать значения двух параметров — массы и содержания водорода, без обоснования того, почему определенные пары значений этих величин встречаются в природе гораздо чаще, чем другие. Более того, приходится варьировать предположения о механическом состоянии внутренних слоев звезды. Если прибавим к этому, что основанная на этих представлениях теория не предсказала ни одного нового факта и поэтому пока не помогает наблюдениям, то становится ясным, что гигантский труд, потраченный на разработку и обсуждение множества различных мыслимых моделей, не дал ожидавшихся результатов.

Положение в этой области можно сравнить с состоянием вопроса о происхождении звезд в период до начала исследования звездных ассоциаций, когда выдвигались различные умозрительные гипотезы о конденсации звезд из межзвездной материи, об аккреции звездами межзвездного вещества — гипотезы, не основанные на результатах наблюдений [1].

Между тем нам кажется, что, подобно тому как в области вопросов, касающихся происхождения звезд, анализ наблюдательных данных привел к интересным результатам, относящимся к продолжающемуся в

* Сообщения Бюраканской обсерватории, **13**, 1954.

Галактике процессу звездообразования, так и в вопросе о природе источников звездной энергии можно надеяться, опираясь на наблюдения, разрешить многие важные вопросы.

Для этого нужно только правильно выбрать среди бесчисленных результатов современных астрофизических наблюдений те факты, где процессы выделения внутризвездной энергии проявляются наиболее непосредственным образом. Совершенно очевидно, что для этого прежде всего нужно обратиться к нестационарным звездам и, в частности, к тем из них, которые столь молоды, что могут считаться находящимися еще в процессе становления (например, звезды типа Т Тельца), а также к нестационарным процессам в тех звездах, которые в целом считаются стационарными (например, Солнце).

Настоящая статья не претендует на решение проблемы источников звездной энергии. Ее цель заключается в том, чтобы обратить внимание на некоторые факты, имеющие непосредственное отношение к процессам выделения внутризвездной энергии, анализ которых позволяет наметить новый путь разрешения этой проблемы.

§ 1. Непрерывная эмиссия в спектрах некоторых переменных звезд низкой светимости

Некоторые классы переменных звезд низкой светимости характеризуются тем, что у значительного числа представителей этих классов время от времени появляется сильная эмиссия непрерывного спектра. Наиболее яркими примерами такого явления представляются изменения, наблюдаемые в спектре переменного карлика UV Кита и подобных ему звезд. Как показали впервые Джой и Хьюмасон [2], спектр этой звезды, в нормальное время соответствующий типу dM5e, во время вспышки, происшедшей 25 сентября 1948 года, был совершенно залит появившимся ярким *непрерывным излучением*. В результате, вследствие потери контраста, обычные линии поглощения были почти не видны. Вместе с тем, во время вспышки появились яркие линии испускания гелия и ионизованного гелия, а яркие линии водорода были усилены. По распределению энергии появляющаяся во время вспышки непрерывная эмиссия отличается от обычного непрерывного спектра холодных карликов более голубым цветом.

Привлечение всех данных, относящихся к вспышкам звезд типа UV Кита, заставляет отвергнуть предположение о том, что рассматриваемая непрерывная эмиссия может иметь тепловое происхождение. В самом деле, если вспышка была бы связана с повышением температуры ка-

кой-либо части фотосферы звезды вследствие притока тепла изнутри, то невозможно было бы объяснить удивительную кратковременность этих вспышек. Достаточно сказать, что вспышка звезды UV Кита 24 октября 1952 г. продолжалась всего две минуты, причем только за промежуток в семь секунд яркость звездной пары, в которую входит UV Кита, возросла на 1.6 звездной величины, откуда можно только заключить, что блеск самой переменной возрос за эти семь секунд еще больше. В другом случае, 17 сентября 1952 г., блеск пары за 15 секунд возрос на 3.4 величины, а вся вспышка продолжалась четыре минуты [3]. Очевидно, что разогревание фотосферы в каком-либо месте, благодаря притоку тепла изнутри, должно было бы продолжаться гораздо больше и притом не могло бы столь сильно ослабить сразу все линии поглощения.

Единственно возможным выходом является предположение, что непрерывное излучение возникло в оптически тонком слое, в самых высоких слоях звезды, или даже может быть над обращаемым слоем звезды, так что об образовании линий поглощения на фоне этой непрерывной эмиссии не могло быть и речи. Вместе с тем, появление линий испускания во время вспышки заставляет считать, что скорее всего источник непрерывного испускания находился в верхних слоях хромосферы звезды.

Количество энергии, выделяемое в период вспышки звезд типа UV Кита в виде непрерывной эмиссии, настолько велико, что, как мы видели, иногда светимость звезды в фотографических лучах возрастает в десятки и даже во сто раз. Даже, если учесть, что максимум излучения звезд типа M5 находится в инфракрасной части спектра, а также возможность того, что непрерывная эмиссия в инфракрасной области слаба, все же окажется, что полное (болометрическое) излучение звезды возрастает во время вспышки по меньшей мере в несколько раз. Очевидно, что столь большие количества энергии не могут возникнуть в наружных слоях за счет перераспределения энергии внутри атмосферы. Поэтому приходится предполагать, что энергия непрерывной эмиссии, составляющая основную часть энергии вспышки, *доставляется каким-то неизвестным образом* (не путем теплопередачи или лучистого переноса) в самые наружные области атмосферы *из внутренних слоев звезды*. Приходится допустить, что энергия может доставляться из внутренних слоев наружу путем прямого выброса внутризвездного вещества, являющегося носителем внутризвездной энергии.

Непрерывная эмиссия, вуалирующая линии поглощения, характерна также для многих звезд типа Т Тельца, особенно вблизи максимумов яркости этих звезд. В последней своей статье Джой [4], резюмируя свои обширные исследования, посвященные переменным типа Т Тельца, указывает, что обычно во время максимумов блеска таких звезд появление

и усиление линий излучения «...сопровождается непрерывным спектром значительной силы, наложенным на нормальный спектр с линиями поглощения, вуалирующим, таким образом, весь спектр более или менее полностью».

Приведем здесь несколько примеров того, как проявляет себя непрерывная эмиссия в звездах типа Т Тельца.

Пример 1. В спектре звезды UZ Тельца, относящейся к типу Т Тельца, линии поглощения обычно слабы вследствие наложения непрерывной эмиссии. Однако по временам, вследствие усиления непрерывной эмиссии, они совершенно исчезают, что имело место, например, согласно наблюдениям Джоя, 28 декабря 1942 года и 4 января 1944 года [5]. Согласно каталогу переменных звезд Кукаркина и Паренаго [6], блеск этой звезды меняется в пределах от 11.7 до 14.9. Получающаяся отсюда амплитуда в 3.3 величины нормальна для звезд типа Т Тельца. Однако Болин в 1921 году и Эш в 1924 году наблюдали максимумы блеска этой звезды ярче $9^m.5$. Таким образом, эта звезда, обычно, согласно Хофлит, претерпевающая неправильные изменения блеска между $13^m.5$ и $14^m.5$, иногда испытывает довольно интенсивные вспышки. Итак, в этом случае мы имеем одновременно наличие сильных максимумов блеска и интенсивного непрерывного излучения.

Пример 2. В своем исследовании звезды RW Возничего, переменность которой была открыта, как известно, Л. П. Церасской [10] в Москве, Хербиг [11] приходит к выводу, что этот спектр получается в результате сложения двух составляющих: нормального спектра типа dG5 и непрерывного спектра «неизвестной природы».

Пример 3. В темном облаке Тельца, в небольшой светлой кометообразной туманности В 10, наблюдается звезда 15-й величины, спектр которой, судя по ее светимости, должен был бы соответствовать K5 или даже более поздним спектральным подразделениям. Однако, согласно Струве и Свингсу [12], ее спектр оказался совершенно непрерывным, без заметных линий поглощения. Последние совершенно завуалированы непрерывной эмиссией. Переменность этой звезды была установлена Химпелем. Холопов [8], исследовавший ее по московским снимкам, подтвердил переменность и отнес эту звезду к классу Т Тельца. Переменная получила название DD Тельца.

Струве и Свингс особенно подчеркивают интенсивность коротковолновой части непрерывного спектра этой звезды, откуда следует, что ее цвет близок к голубому. Этот факт является столь необычным, что невольно возникает предположение о том, что звезда представляет из себя белого карлика. Однако переменность звезды, а также наличие интенсивных ярких линий, характерных для звезд типа Т Тельца, заставляют сразу же отказаться от такого предположения. Помимо 14 интенсивных

ярких водородных линий, в спектре рассматриваемой звезды наблюдаются и другие яркие линии. Кроме того, звезда DD Тельца имеет спутника, который также является звездой типа Т Тельца — явление, весьма характерное для звезд типа Т Тельца и исключающее возможность допущения, что рассматриваемые объекты являются обычными звездами общего поля, вошедшими в диффузную туманность. Отсюда неизбежно следует вывод, что звезда DD Тельца обязана своим цветом наличию непрерывной эмиссии, т. е. что непрерывная эмиссия имеет в данном случае резко выраженный голубой цвет.

Пример 4. В 1935 году И. Н. Балановская [7] в Пулковке открыла в Тельце объект переменного блеска, оказавшийся затем двойной звездой [8], обе составляющие которой являются переменными типа Т Тельца. Эти переменные получили название ДН Тельца и ДI Тельца. Звезда ДН Тельца имеет примерно такую же видимую величину, как DD Тельца. Звезда ДН Тельца весьма похожа на DD Тельца также в следующих отношениях:

а) она имеет спутника — звезду ДI Тельца, также являющегося переменной типа Т Тельца,

б) в спектре звезды ДН Тельца бальмеровская серия интенсивна и простирается до H_{14} . По свидетельству Джоя [9], спектр звезды сильно завуалирован интенсивным непрерывным излучением, простирающимся далеко в ультрафиолетовую часть. Очевидно, что и в этом случае голубой цвет непрерывной эмиссии не вызывает сомнения. С другой стороны, интересно, что в спектре спутника линии поглощения были совершенно не завуалированы в момент наблюдения Джоя. Вместе с тем, водородные линии излучения были у спутника крайне слабы.

Пример 5. Переменные звезды туманности Ориона с яркими линиями имеют, как правило, в своем спектре завуалированные линии поглощения (Хербиг [13]). Однако вопрос о том, происходят ли наблюдаемые изменения яркости этих звезд исключительно за счет непрерывной эмиссии, еще не ясен. Как показал Паренаго [14], у звезды Т Ориона возрастание блеска сопровождается уменьшением показателя цвета. Это находится в соответствии с предположением о том, что в повышении блеска основную роль играет непрерывная эмиссия. Однако повышение температуры должно давать качественно тот же эффект. Поэтому вопрос нуждается в дальнейшем изучении.

Если в случае звезд типа UV Кита возрастание яркости можно приписать, в основном, непрерывной эмиссии, то в случае звезд типа Т Тельца картина уже не является такой четкой и простой. Не у всех звезд типа Т Тельца повышение яркости сопровождается параллельным усилением непрерывного испускания. У некоторых из них вуалирование линий поглощения вообще не отмечается, что, очевидно, указывает на

слабость непрерывной эмиссии. Это означает, что, в одних случаях частично, а в других случаях почти целиком, изменение яркости бывает обусловлено изменением температуры звезды. Точно также нет полного параллелизма между изменениями интенсивности ярких линий и непрерывной эмиссией. Так, например, одна из наиболее выделяющихся по интенсивности ярких спектральных линий звезда XZ Тельца, переменность которой была установлена П. Ф. Шайн [15] в 1928 году в Симеизе, не отличается большой интенсивностью непрерывной эмиссии. Интересно, что даже в минимуме яркости эта звезда имеет спектр, чрезвычайно богатый яркими линиями [5]. Во всяком случае, время от времени в спектре видны линии поглощения и даже полосы окиси титана в поглощении.

Все сказанное заставляет сделать следующий вывод: изменения блеска звезд типа T Тельца связаны с выделением дополнительной энергии излучения в трех различных видах: а) температурное излучение, связанное с повышением температуры, б) энергия линий испускания и в) непрерывная эмиссия. Эти процессы в значительной мере сопровождают друг друга.

Совершенно естественно рассматривать все эти три способа выделения энергии как следствие одной и той же причины, проявляющейся, однако, в различных вариантах.

Так, если мы остановимся на предположении, высказанном в отношении звезд типа UV Кита, т. е. остановимся на допущении, что *в этих явлениях играет роль выброс из внутренних слоев звезды некоторой части внутризвездного вещества, являющегося источником внутризвездной энергии*, то можно допустить, что все три указанных выше варианта объясняются тем, что освобождение энергии, выброшенной массой, может происходить на различных уровнях в атмосфере звезды.

В тех случаях, когда освобождение энергии происходит во внешних слоях хромосферы или над этими слоями, мы имеем излучение непрерывной эмиссии, вуалирующей линии поглощения, механизм образования которой таков же, что и у звезд типа UV Кита.

В тех случаях, когда освобождение энергии происходит в нижних слоях хромосферы или в обрабатываемом слое, часть освобождаемой энергии выделяется в виде непрерывного излучения (на которую уже могут накладываться и линии поглощения), а часть идет на возбуждение ярких линий водорода и других атомов.

Когда рассматриваемая энергия выделяется во внешних слоях фотосферы, то мы имеем смесь температурного и нетемпературного излучения, причем последнее может вызывать также появление эмиссионных линий.

Наконец, когда рассматриваемая энергия выделяется в глубоких

слоях фотосферы, то мы должны наблюдать, в основном, лишь возрастание температурного излучения, и спектральные изменения не должны носить столь бурного характера, как во всех предыдущих случаях.

Мы знаем, что не все звезды, показывающие изменение блеска типа Т Тельца (или RW Возничего), имеют в спектре яркие линии. Так, по Хербигу [16], только половина переменных звезд туманности Ориона имеет в спектре яркую линию H_{α} , в то время как в Т-ассоциации около S Единорога 70% переменных показывают яркую линию H_{α} . Хотя эти данные нуждаются в уточнении (необходимом, как вследствие несовершенства спектральных данных для слабых звезд, так и вследствие возможного временного исчезновения линии H_{α}), мы можем, на основании развинутого выше взгляда, сказать, что у многих звезд указанных двух ассоциаций выделение энергии происходит, по преимуществу, в глубоких фотосферических слоях, вследствие чего заметные линии излучения не возникают.

Заметим, что, если в случае звезд типа UV Кита выбрасываемое из недр звезды вещество, выделяющее энергию, высвечивается за очень короткий промежуток времени и обычно неспособно поддерживать увеличенную яркость на протяжении более чем получаса, в случае звезд типа Т Тельца мы должны предположить гораздо более длительный период высвечивания, т. е. возможность длительного излучения за счет выделенной дополнительной энергии. Благодаря этому волны в кривой яркости, соответствующие различным выбросам, весьма часто перекрываются, и мы имеем характерные для звезд типа Т Тельца неправильные изменения блеска. Поэтому можно представить себе, что у отдельных звезд типа Т Тельца (например, у DD Тельца) указанные выбросы происходят столь часто, сопровождаясь непрерывной эмиссией, что в их спектрах линии поглощения почти всегда завуалированы.

§ 2. Кометообразные туманности и причины изменений в них

Насколько подробно изучены планетарные туманности, физической теории которых посвящены буквально сотни отдельных работ, настолько же мало исследованы объекты другого класса малых туманностей — кометообразные туманности. Между тем, если не считать оболочек, выбрасываемых новыми звездами, кометообразные туманности составляют единственный вид туманностей, многие представители которых являются переменными объектами.

Бросается в глаза, что большинство из известных нам переменных туманностей, если не все, связано со звездами типа Т Тельца или с род-

ственными им объектами. В этом отношении классическим примером является туманность Хинда (NGC 1555) около самой Т Тельца. Открытая в 1852 году и бывшая в то время заметным объектом, она к 1861 году чрезвычайно ослабла и была едва различима лишь в крупнейшие телескопы. В 1868 году она совершенно исчезла. С 1890 года она снова наблюдалась, сначала в виде слабого объекта, а позже достигла заметной яркости. Туманность имеет непрерывный спектр, и кажется естественной гипотеза, что она является отражательной. Однако эта гипотеза не может быть принята, поскольку изменения яркости туманности и, в частности период ее исчезновения, не находятся ни в каком соответствии с изменениями блеска самой Т Тельца, от которой она находится в проекции на расстоянии примерно $40''$. Если пространственное расстояние не во много раз превышает расстояние в проекции, то свет звезды должен доходить до туманности за несколько месяцев, и поэтому туманность должна была бы с некоторой разностью фаз, порядка нескольких месяцев (в зависимости от ориентации), повторять изменения блеска звезды, что наверняка не наблюдается. Очевидно также, что здесь нельзя ничего объяснить реальными изменениями в самой туманности. В самом деле, для этого пришлось бы допустить перемещение составляющих ее масс со скоростью порядка десятка тысяч километров в секунду и более. Еще труднее в таком случае понять восстановление туманности на прежнем месте, хотя и в несколько измененной форме. Очевидно, что и здесь нельзя ничего объяснить также тепловым излучением и что нужно придумать какой-то новый механизм возбуждения непрерывного излучения.

Как известно, профессор Киппер показал, что непрерывный спектр планетарных туманностей удовлетворительно объясняется двухквантовым излучением водородных атомов, происходящим при переходе последних из метастабильного состояния $2S$ в основное состояние $1S$. Однако в данном случае нет условий для осуществления и этого механизма. Таким образом, свечение туманности Хинда следует приписать какому-то еще неизвестному механизму.

Приведем другой пример трудности при объяснении свечения кометообразных туманностей. Кометообразная туманность В10 связана с переменной звездой DD Тельца, об удивительных особенностях которой и, в частности, о наличии у нее интенсивной голубой непрерывной эмиссии говорилось выше. Физический характер связи между DD Тельца и туманностью В10 не может вызвать сомнения, так как звезды, находящиеся за В10, почти совершенно не видны из-за поглощения света в темном облаке Тельца, а вероятность случайного проектирования на В10 какой-нибудь звезды фона меньше 0.1. Тем более мала вероятность случайного проектирования столь исключительной звезды на столь малую по размерам туманность В 10. Согласно Струве и Свингсу [12], ту-

манность имеет непрерывный спектр. Однако, проверяя, выполняется ли соотношение Хаббла, эти авторы установили, что для освещения туманности B10 на всем протяжении, на котором она светится, видимый блеск звезды DD Тельца должен был бы быть на 7 величин ярче наблюдаемого. Голубой цвет звезды исключает возможность предположения об очень сильном ослаблении ее света. Поэтому следует отказаться от гипотезы о простом отражении туманностью света звезды и принять, что в данном случае мы имеем дело с неизвестным механизмом непрерывной эмиссии.

Однако тот факт, что рассмотренные две кометообразные туманности связаны именно со звездами типа Т Тельца, свидетельствует о том, что в конечном счете причиной свечения в каждом случае все же является звезда. Таким образом, мы приходим к заключению, что многие звезды типа Т Тельца способны создавать условия для появления непрерывного свечения как в верхних слоях своих атмосфер, так и на значительном расстоянии от себя (до нескольких десятых парсека). При этом интенсивность фактора, вызывающего непрерывное свечение туманности, меняется неправильным образом, отлично от блеска самой звезды.

Приведем еще несколько примеров, подтверждающих высказанный выше взгляд на свечение кометообразных туманностей.

Кометообразная туманность NGC 6729 непосредственно связана со звездой R Южной Короны. Установлено, что и в этом случае нет определенной корреляции между изменениями блеска звезды и туманности, хотя расположение и форма туманности прямо говорят о воздействии звезды R Южной Короны, а возможно частично и соседней звезды T Южной Короны, находящейся на расстоянии примерно одной минуты дуги от R Южной Короны. Согласно Хабблу, спектр туманности NGC 6729 непрерывен. Стремясь проверить гипотезу об отражении света звезды, Уитней и Уэстон в 1946 году произвели снимки туманности NGC 6729 через поляроид [17]. Хотя результаты их измерений недостаточно точны и произведены всего в двух положениях поляроида, все же их анализ скорее говорит против радиальной поляризации, вытекающей из гипотезы отражения света, чем за нее.

Значительный интерес представляет открытая Харо [18] небольшая кометообразная туманность, включенная им в список пекулярных объектов, находящихся в районе туманности Ориона под номером 13а. В голове этой туманности находится весьма слабая инфракрасная звезда. Туманность видна на снимках в синих, красных и инфракрасных лучах, но связанная с нею звезда настолько слаба в синих лучах, что вовсе не видна на синем снимке, почти не видна на красном и заметна лишь на

инфракрасном, будучи все же слабее туманности. Гипотеза об отражении света приводит и в этом случае к предположению, что свет звезды претерпевает в голове туманности столь значительное покраснение, что звезда становится инфракрасной. Между тем в области туманности Ориона мы имеем известное число других инфракрасных объектов столь же слабого блеска. Поэтому более естественно предположить, что причиной свечения туманности в синих лучах является ее собственное непрерывное свечение, вызываемое неизвестным фактором, исходящим из звезды. Особенно интересно, что, по мнению Харо, отдаленная от звезды часть туманности (хвост) имеет эмиссионный спектр и невидима в инфракрасных лучах. Это является прямым указанием на то, что свечение туманности не может быть объяснено простым отражением. Очевидно мы имеем здесь дело с знакомым нам явлением одновременного возбуждения в различных объемах непрерывной эмиссии и линий излучения.

Итак, мы можем сделать вывод, что свечение кометообразных туманностей объясняется, по крайней мере в своей значительной части, как результат непосредственного освобождения в объеме туманности внутризвездной энергии, перенесенной путем какого-то выброса из внутренних слоев звезды в область туманности.

Следует отметить, что не во всех случаях следует отказываться от механизма отражения. При достаточно большой светимости звезды связанная с нею кометообразная туманность может быть достаточно освещена для того, чтобы в ее свечении отраженный свет играл значительную роль. Такой случай мы имеем, по-видимому, в туманности NGC 2261, связанной с R Единорога. С одной стороны, изменения блеска туманности не следуют за изменениями яркости звезды. Во всяком случае, амплитуда изменения яркости звезды намного превосходит амплитуду изменения яркости туманности. Как показано было Гринштейном [19], цвет туманности не следует за изменениями цвета звезды. Вместе с тем, наличие в спектре туманности ярких линий, которые присутствуют в спектре звезды, говорит о значительной роли отражения. Следует думать, что при повышении абсолютной яркости звезды роль отраженного света возрастает.

В пользу предложенного объяснения говорит также тот факт, что одна и та же звезда вызывает в разное время свечение различных объектов, расположенных в различных местах. Мы имеем здесь в виду произведенное Отто Струве в 1868 году в Пулковке открытие туманности NGC 1554, расположенной в трех минутах дуги от T Тельца. Она наблюдалась до 1877 года, т. е. как раз в тот период, когда туманность Хинда была невидима. С тех пор она не наблюдалась и не видна даже на луч-

ших современных фотографиях. Появление и исчезновение туманности Струве нельзя никак объяснить исходя из гипотезы отражения.

Во всех случаях переменности кометообразных туманностей, связанных со звездами типа Т Тельца, наблюдается та особенность, что изменения в туманности требуют гораздо более длительных промежутков времени (большой частью требуются годы), чем промежутки, в течение которых меняется блеск самих звезд типа Т Тельца. Это свидетельствует о том, что в случае кометообразных туманностей освобожденная порция энергии расходуется в виде излучения за гораздо более длительный срок, чем в звездных атмосферах

Как только что упомянутый факт последовательного возбуждения свечения двух туманностей, расположенных различным образом по отношению к Т Тельца, так и сама форма большей части кометообразных туманностей говорят о том, что фактор, вызывающий свечение, в данном случае может иметь направленное действие. Направленность в данном случае может объясняться, с одной стороны, направлением выброса внутризвездного вещества и, с другой стороны, распределением материи вокруг звезды.

В заключение настоящего параграфа упомянем еще несколько звезд типа Т Тельца, связанных с кометообразными туманностями. Это ВМ Андромеды, RY Тельца, DG Тельца и НК Ориона. Последняя по характеру спектра звезды и по изменениям блеска может быть также отнесена к типу XX Змееносца. Однако, как правильно указывает Холопов [8], между звездами типа Т Тельца и XX Змееносца нет резкой границы, поэтому они могут быть объединены в один класс.

Значительное число звезд типа Т Тельца встречается в различных светлых диффузных туманностях (туманность Ориона, NGC 2264, NGC 7023 и других), образуя в них богатые Т-ассоциации. Собственно говоря, и переменные, находящиеся в Тельце, в том числе и такие, как DD Тельца, Т Тельца, DG Тельца, RY Тельца, которые связаны с кометообразными туманностями, входят в большую, но темную диффузную туманность Тельца, образуя одну большую ассоциацию, состоящую из нескольких групп, подробно исследованных Холоповым. Возникает вопрос, нет ли и в светлых диффузных туманностях, содержащих в себе большие группы звезд типа Т Тельца, таких, которые вместе с ними содержат в себе также небольшие кометообразные туманности. Совершенно естественно, что обнаружение подобных кометообразных включений в случае светлых туманностей должно быть гораздо более трудным делом, чем в случае темных туманностей. Однако обзор имеющихся на этот счет наблюдательных данных показывает, что задача эта не является совершенно безнадежной.

§ 3. Кометообразные включения в светлых диффузных туманностях

1. *Туманность IC 405.* С первого взгляда это обычная газовая туманность. Тот факт, что в ней заключена звезда АЕ Возничего, имеющая спектр типа О, позволяет считать, что свечение туманности объясняется обычным механизмом флуоресценции. Наличие ярких линий в спектре туманности подтверждает это заключение. Однако уже Гринштейн и Хеней [20] констатировали наличие заметного непрерывного спектра. Последнее обстоятельство подтверждается Гурзадяном на основании снимка, полученного с помощью небулярного спектрографа Бюраканской обсерватории. Фотографии туманности IC 405 можно найти в атласах Крымской [21] и Алма-Атинской [22] обсерваторий. Как показала в своей работе В. Ф. Газе [23], вид и строение туманности на снимке в лучах H_α необычайно резко отличается от ее вида и строения на снимке в фотографических лучах. Правда, различие между снимками в H и в фотографических лучах наблюдается у диффузных туманностей весьма часто. Однако обычно оно сводится к тому, что на периферии газовой туманности в лучах H_α выявляются более слабые части. В отдельных случаях, наоборот (например, в случае трехраздельной туманности), у газовой туманности имеется продолжение в виде пылевой туманности, дающей непрерывный спектр и видимой только в фотографических лучах. В данном же случае разница заключается в том, что в фотографических лучах от звезды АЕ Возничего тянется яркая и довольно резко ограниченная струя, изогнутая дугой, между тем как на водородном снимке эта наиболее выдающаяся деталь туманности совершенно не видна. Предполагать, что свечение струи может вызываться, в основном, излучением других ярких линий, встречающихся в спектрах диффузных туманностей, также, по-видимому, нет основания. В самом деле, речь может идти здесь лишь о дублете λ 3727 [OII]. Но особенно сильное свечение этой линии в той части струи, которая близка к звезде АЕ Возничего, трудно предполагать, так как в этой части кислород должен быть почти целиком ионизован вторично. Поэтому более естественно полагать, что спектр струи в значительной степени непрерывный, подобно спектрам кометообразных туманностей. Сходство рассматриваемой струи с кометообразными туманностями состоит при этом не только в том, что струя как бы вытекает из звезды, но и в том, что сама звезда является переменной.

С другой стороны, мы не знаем случаев, чтобы звезда типа О9 освещала в непосредственном соседстве с собою пылевую туманность. Остается предположить, что здесь мы имеем дело опять с непрерывной эмиссией.

II. *IC 410*. Туманность IC 410 содержит в себе O-скопление NGC 1893. В это скопление входят, согласно Шарплессу [24], 5 звезд типа O, несколько звезд типа B0 и другие более слабые звезды. В частности, в это скопление входит система типа трапеции BD + 33°1026 и другие кратные системы. Туманность IC 410 имеет диаметр, превосходящий полградуса. Большая плотность изображения на снимках в лучах *H* (см. атласы Крымской и Алма-Атинской обсерваторий) указывает на то, что большая часть свечения связана с возбуждением газов упомянутыми выше горячими звездами. Однако в состав туманности входят два бросающихся в глаза образования, которые представляют собой кометообразные туманности. В списке Шайна и Газе [25] они обозначены номерами S 129 и S 130. Туманность S 129 имеет длину порядка пяти минут, а S 130 — порядка семи минут. Особенно хорошо видны эти туманности на снимке 13d второй части атласа Фесенкова и Рожковского. В районе головы туманности S 129 находится пять слабых звезд. Из них наиболее яркая, судя по определению Куффеля [26], имеет фотографическую яркость $4^m,8$, а в районе головы туманности S 130 имеется 4 звезды, из которых наиболее яркая достигает фотографической величины 13.4. Не может быть и речи, чтобы указанные звезды могли освещать связанные с ними кометообразные туманности. В обоих этих случаях соотношение Хаббла будет нарушено почти в такой же степени, что и в случае звезды DD Тельца, связанной с кометообразной туманностью B10. Поэтому возможно, что и в этом случае действует механизм непрерывной эмиссии, обсуждавшийся выше.

III. *Туманность Ориона*. Помимо объекта 13а, обнаруженного Харо, о котором мы говорили в предыдущем параграфе и который, несомненно, входит в ассоциацию Ориона, хотя и находится довольно далеко от Трапеции, имеются данные еще о четырех объектах, находящихся уже сравнительно близко к Трапеции. Это небольшие туманности, обнаруженные Харо [18] на инфракрасных снимках и получившие у него обозначения 5а, 6а, 7а и 8а. Из них объекты 7а и 8а содержат в себе весьма слабые инфракрасные звезды, которые, в силу своей низкой светимости, не могут их освещать. В других двух объектах — 5а и 6а — вовсе не обнаружены звезды.

Несмотря на это и несмотря на близость Трапеции, эти объекты излучают непрерывный спектр. Если бы их непрерывное излучение вызывалось прямым освещением со стороны Трапеции или со стороны других горячих звезд, входящих в ассоциацию Ориона, то нельзя было бы понять тот факт, что эти туманности выделяются прежде всего в инфракрасных лучах. Поэтому естественно и в данном случае рассматривать их свечение как следствие непрерывной эмиссии, считая, что в случае

объектов 5а и 6а звезды, обуславливающие появление непрерывной эмиссии, настолько слабы, что не получают на снимках.

IV. *Туманность NGC 7023*. Как показал Уэстон [27], эта туманность содержит в себе большое количество звезд типа Т Тельца. С другой стороны, принято считать, что она освещается находящейся в ее центре звездой типа В5. Как указывают Шайн и Газе [25], «туманность... частично водородная». Это означает, что наряду с непрерывным спектром часть энергии излучается в линиях водорода и, вероятно, других элементов. Если непрерывный спектр целиком происходит от отражения света центральной звезды, мы должны были бы наблюдать радиальную поляризацию, однако, как показал Уэстон [28], картина поляризации в рассматриваемой туманности весьма сложна, и результаты его наблюдений не могут быть объяснены простым отражением света.

Согласно Глизе и Вальтеру [29], в туманности наблюдается в первом приближении радиальная поляризация, как этого требует гипотеза об отражении света центральной звезды. Однако это только первое приближение. Реальная картина распределения поляризации гораздо сложнее.

Таким образом, и в этом случае можно подозревать наличие отдельных включений, дающих непрерывное свечение иной природы.

Из всего сказанного следует, что строение многих диффузных туманностей, особенно связанных с Т- и О-ассоциациями, гораздо сложнее, чем это казалось до сих пор, и наряду с исследованием их в лучах H_α нужно обратить серьезное внимание на изучение их строения в непрерывном спектре.

§ 4. Объекты Хербига — Харо

Как известно, помимо того, что звезда Т Тельца имеет около себя кометообразную туманность Хинда, она непосредственно окружена туманной оболочкой небольшого объема, имеющей спектр, состоящий из ярких линий [30]. Интересно, что этот спектр свидетельствует о слабой степени ионизации в туманности. Так, вместо линий [OIII], которые вообще не наблюдаются, мы встречаем здесь весьма интенсивный дублет λ 3727 [OII]. Значительную интенсивность имеют также линии [SII]. Такое поведение спектра нам кажется понятным. Излучение звезды и даже добавленная к ней непрерывная эмиссия не могут вызвать высокой ионизации в туманности. Поэтому возбуждаются преимущественно линии нейтральных и однажды ионизованных атомов. Однако самый факт существования туманной оболочки представляет большой интерес и, по-видимому, тесно связан с молодостью звезды Т Тельца.

ца. Если это так, то естественно ожидать, что наиболее молодые образования в Т-ассоциациях могут быть связаны с подобными же туманными оболочками. Интересно, что Хербиг [31] открыл и изучил недалеко от диффузной туманности NGC 1999 три весьма слабых туманных объекта, расположенных примерно на одной прямой линии. В дальнейшем эти объекты были изучены Харо [32]. Оказалось, что каждый из них представляет собой звезду примерно 18-й величины, окруженную небольшой туманностью. При этом туманность представляется довольно яркой по сравнению со звездой, а спектр туманности весьма напоминает спектр газовой оболочки вокруг Т Тельца. Как установил Харо, звезды в этих объектах имеют голубой цвет, подобно переменной звезде DD Тельца, являющейся одной из весьма слабых звезд в ассоциации Тельца, также особенно резко проявляющей свойства, которые можно считать связанными с молодостью звезд этого класса. Интересно, что и по абсолютной величине эти объекты очень близки к звезде DD Тельца.

Крайняя редкость объектов Хербига — Харо, даже в ассоциации Ориона, где много звезд типа Т Тельца, расположение трех объектов в виде цепочки длиной всего около 5 минут дуги, т. е. около полпарсека, низкая абсолютная яркость, а также другие совершенно особые свойства заставляют считать эти объекты (и сходные с ними несколько других объектов в ассоциации Ориона) крайне ранними стадиями развития вновь возникающих звезд — объектов типа Т Тельца.

§ 5. Неправильные переменные, примыкающие к типу Т Тельца

Среди неправильных переменных других классов наибольшее сходство со звездами типа Т Тельца показывают звезды типа XX Змееносца. Как указывалось выше, Холопов считает, что оба эти типа можно объединить в один класс. В пользу объединения говорят следующие факты:

1. Кривые блеска у звезд типа XX Змееносца очень сходны с кривыми блеска звезд типа Т Тельца.

2. Звезда НК Ориона, которая по спектру (A4ep) была отнесена ранее к звездам типа XX Змееносца, оказалась членом группы звезд типа Т Тельца, той группы, в которую входит СО Ориона [8]. Как упоминалось выше, около нее имеется яркая кометообразная туманность. Все это дало основание отнести ее в то же самое время к звездам типа Т Тельца.

3. Одна из звезд типа XX Змееносца, обладающая малой амплитудой блеска, X Персея, входит [33] в ассоциацию Персей II и уже поэтому родственна звездам типа Т Тельца, большое число которых, согласно Хербигу [34], наблюдается в этой ассоциации.

4. Звезда ХУ Персея, относимая обычно к типу ХХ Змееносца, находится на краю большого темного облака и, возможно, тоже связана с ассоциацией Персей II. Кривая ее блеска также напоминает кривые блеска звезд типа Т Тельца.

Наблюдаемая у некоторых звезд рассматриваемого типа связь с кометообразными и темными туманностями заставляет считать, что в этих звездах физические процессы должны походить на процессы в звездах типа Т Тельца. Разница заключается лишь в том, что это звезды типов В и А и имеют более высокую светимость. Можно сказать, что эти звезды составляют продолжение класса переменных типа Т Тельца в сторону ранних спектральных типов. По существу дальнейшим продолжением этой последовательности является звезда АЕ Возничего, связанная с туманностью IC 405 и имеющая спектр О9, о которой говорилось выше.

Вместе с тем, следует отметить, что имеется сходство между звездами типа ХХ Змееносца и звездами типа R Северной Короны.

Прежде всего, кривая блеска самой ХХ Змееносца характеризуется приблизительным постоянством в максимуме и, таким образом, имеется сходство кривых блеска звезд типа ХХ Змееносца с кривыми блеска звезд типа R Северной Короны.

Если возьмем, далее, такую звезду типа R Северной Короны, как ВN Ориона, она в отношении кривой яркости очень мало отличается от ХУ Персея. Поэтому нельзя сомневаться в том, что физические процессы в звездах типа R Северной Короны должны иметь много общих черт с физическими процессами в звездах типа ХХ Змееносца и Т Тельца. Разница же заключается в более длительных остановках изменения яркости в максимуме, с одной стороны, и в том, что звезды типа R Северной Короны, по крайней мере иногда, являются сверхгигантами.

Сама R Северной Короны относится к типу сF и в максимуме действительно имеет весьма высокую светимость.

Весьма существенным обстоятельством, характеризующим звезды типа R Северной Короны, является то, что во время минимума при падении блеска на несколько величин цвет ее, по имеющимся данным, остается постоянным. Если исключить гипотезу о переменном нейтральном поглощении света звезды темной материей, то такое явление невольно заставляет делать вывод, что основная доля излучения звезды не носит теплового характера. К сожалению, явление слишком мало изучено для того, чтобы делать дальнейшие выводы, однако ясно, что вопрос о закономерностях излучения непрерывного спектра звезд типа R Северной Короны и о наличии непрерывной эмиссии в их спектрах заслуживает серьезного внимания.

Говоря о звездах, которые могут оказаться сходными со звездами типа Т Тельца в отношении явления непрерывной эмиссии, мы не можем

не остановиться на звезде FU Ориона, занимающей совершенно особое положение среди всех переменных звезд. Поскольку до 1937 года эта звезда была не ярче 16-й величины, а в 1937 году, вспыхнув, достигла максимума 9-й величины, то ее относят часто к числу новых звезд. Однако вслед за подъемом яркости не произошло сколько-нибудь сильного падения блеска. Вместо этого мы имеем продолжающийся много лет максимум блеска. Звезда принадлежит в максимуме к типу сF5, поэтому ее с таким же правом можно считать звездной типа R Северной Короны с весьма продолжительным минимумом, имевшим место до 1937 года. Если стать на эту точку зрения, то становится интересным тот факт, что после вспышки около звезды наблюдалась кометообразная туманность. Поэтому можно ожидать, что и у этой звезды в какой-то степени могут наблюдаться явления, имеющие место в атмосферах звезд типа T Тельца.

§ 6. Гипотеза о релятивистских электронах

Как известно, непрерывное свечение в оптической части спектра испускается также Крабовидной туманностью. Для объяснения непрерывного спектра Крабовидной туманности Шкловский [35] предположил, что в этой туманности имеются иррегулярные магнитные поля, в которых движутся релятивистские электроны с энергиями, достигающими до 10^{11} эв и выше. Предполагается при этом, что электроны получили столь большие энергии в результате многократных рассеяний на магнитных полях в период вспышки, приведшей к образованию Крабовидной туманности. Хотя пока трудно утверждать, что непрерывное излучение Крабовидной туманности имеет ту же природу, что и непрерывная эмиссия, рассмотренная в настоящей статье, все же очевидно, что перед астрофизиками стоит широкая задача объяснения непрерывной эмиссии, возникающей в самых разнообразных условиях. Поэтому встают вопросы: 1) не может ли излучение релятивистских электронов в магнитных полях (т. е. явление «светящихся электронов») быть общей причиной непрерывной эмиссии во всех случаях, рассмотренных в настоящей статье*, и 2) не получают ли релятивистские электроны свою энергию на основе действия механизма Ферми, т. е. в результате рассеяния на иррегулярных магнитных полях.

Что касается второго вопроса, то нам кажется, что на него можно

* Во время конференции по переменным звездам в Ленинграде (май, 1954), где докладывалась настоящая работа, я узнал, что И. М. Гордон публикует статью, в которой предполагается, что именно релятивистские электроны ответственны за непрерывную эмиссию у звезд типа T Тельца.

сразу дать отрицательный ответ. В самом деле, в некоторых случаях (звезды типа UV Кита) появление непрерывной эмиссии носит взрыво-подобный характер, между тем как при механизме Ферми появление электронов с высокой энергией должно происходить постепенно, а при медленном характере изменений статистических характеристик иррегулярного магнитного поля может даже установиться равновесие между приобретением и испусканием энергии электронами.

Что касается первого вопроса, то в настоящее время еще трудно ответить на него утвердительно, так как о существовании магнитных полей в атмосферах нестационарных звезд и, особенно, о значениях напряжений этих полей и об их структуре можно делать лишь необоснованные гипотезы*.

Поэтому в настоящей работе мы отказываемся от введения гипотезы о релятивистских электронах для рассматриваемых типов нестационарных звезд.

Для рассматриваемых явлений наиболее существенным является то, что мы имеем дело со столь большими количествами энергии, которые вряд ли могут освобождаться при процессах энергообмена, ограничивающихся самой атмосферой. Следовательно, неизбежным является вывод о том, что при этих процессах происходит непосредственный вынос внутризвездной энергии в наружные слои посредством какого-то носителя этой энергии. При взаимодействии с веществом внешних слоев или спонтанно происходит выделение этой энергии во внешних слоях, причем посредством какого-то механизма эта энергия превращается либо в тепловое излучение фотосферических слоев, либо в энергию возбуждения и ионизации атомов, либо же, наконец, в энергию непрерывной эмиссии.

Существенна следующая сторона этого явления: после выноса внутризвездной энергии наружу ее освобождение начинается сразу, взрыво-подобно, а не нарастает постепенно. Однако сам процесс излучения в оптической части спектра может длиться долго, иногда много дней. Поэтому представляется вероятной следующая картина: энергия внутризвездной природы выделяется своим носителем за очень короткий промежуток времени, но превращается в другой промежуточный вид энергии, откуда уже переходит в течение длительного времени (от нескольких минут до многих дней) в видимое излучение. Если бы внутризвездная энергия освобождалась своим носителем не мгновенно, то мы имели бы постепен-

* Разработка гипотезы о релятивистских электронах должна свестись к подгонке значений магнитных полей, значений средней энергии электронов и плотностей среды, для того чтобы удовлетворить наблюдаемым срокам высвечивания и частотам излучения. Между тем на данном этапе наших знаний основное значение имеют анализ и обобщение фактических данных, касающихся непрерывной эмиссии.

ное нарастание вспышек, поскольку требовалось бы время для накопления энергии в промежуточном состоянии.

Такое быстрое превращение внутризвездной энергии, вынесенной в наружные слои, в другие виды заставляет считать, что мы имеем здесь дело с процессами типа ядерного распада и при этом с очень небольшой продолжительностью жизни.

О том, что такие процессы происходят и притом не только в нестационарных звездах, но и в таких звездах, как наше Солнце, говорят некоторые факты, которые мы перечислим в следующем параграфе.

§ 7. О процессах распада во внешних слоях звезд

В настоящее время имеются прямые доказательства того, что во внешних слоях многих звезд происходят процессы распада, влияющие на химический и изотопный состав звездных атмосфер. В этом отношении наибольшее значение имеет открытие Меррилом [36] интенсивных линий технеция в спектрах большинства наблюдавшихся им звезд типа S. Вследствие неустойчивости своих ядер технеций должен был бы исчезнуть из атмосферы за промежуток времени порядка несколько сотен тысяч лет. Следовательно, он продолжает возникать в атмосферах звезд типа S. Как показывает изучение этого вопроса, для образования технеция из других элементов, например из элементов группы железа или из молибдена, требуются исключительные условия, которые не осуществляются во внешних слоях звезды. Эти условия неправдоподобны также и для центральных областей звезды. Более того, конвекция из центральных областей в наружные может потребовать гораздо больше времени, чем продолжительность жизни технеция. Естественно поэтому считать, что элемент технеций возникает непосредственно в атмосферах звезд или в слоях, находящихся непосредственно под атмосферой, в результате процессов распада внутризвездного вещества, о которых говорилось выше. В пользу этого говорит также тот факт, что обилие технеция в звездах типа S, согласно Меррилу, коррелируется с обилием циркония. Так как обилие циркония следует считать фундаментальной особенностью звезд типа S, также связанной с процессом возникновения элементов в этой звезде, то естественно думать, что возникновение технеция лишь сопровождает процесс возникновения атомов циркония. Отметим, что, согласно Нассау (доклад на открытии Пулковской обсерватории в 1954 г.), гиганты типа S образуют в Галактике группы, подобные ассоциациям. Поэтому они должны быть молодыми звездами. Если образование звезд из протозвезды сопровождается постепенным превращением дозвездного вещества в обычное вещество в результате процессов типа распада, то наличие технеция и большое обилие циркония в

звездах типа S должны служить одним из указаний на то, каким путем идет формирование элементов. Довольно серьезные данные, полученные Хюбене, Де-Ягером и Цвааном [37], свидетельствуют о наличии небольшого количества технеция и на Солнце. Поэтому возникает предположение о возможности возникновения элементов и на Солнце в результате распада первичного вещества. Ряд фактов убедительно свидетельствует в пользу этого предположения. К ним относятся:

- 1) наличие в солнечной атмосфере лития;
- 2) данные, говорящие в пользу наличия в атмосфере Солнца дейтерия, приведенные Де-Ягером [38];
- 3) большое изобилие на Солнце бериллия.

Недавно новые доказательства в пользу существования на Солнце дейтерия были получены Северным [39] в Крымской обсерватории.

Как известно, до сих пор считалось, что эти факты можно объяснить, вводя искусственные предположения об отсутствии перемешивания между наружными и внутренними слоями Солнца. Однако гипотеза о продолжающихся процессах типа атомного распада, делая совершенно естественным существование этих элементов в солнечной атмосфере, может объяснить и наличие технеция, которое непонятно с точки зрения гипотезы об отсутствии перемешивания.

Следует отметить, что и на Солнце, правда в небольшом масштабе по сравнению с рассмотренными выше нестационарными звездами, происходит явление чрезвычайно быстрого выделения значительных количеств энергии, которое трудно объяснить процессами энергообмена в пределах самой атмосферы. Мы имеем в виду хромосферные вспышки, обычно сопровождаемые интенсивными радиовсплесками. Очень короткая продолжительность промежутка от начала возникновения хромосферной эрупции до максимума ее интенсивности так же, как аналогичный факт, наблюдаемый в отношении радиовсплесков, говорит о взрывоподобном характере развития этого процесса.

Необычайно высокая интенсивность радиоизлучения при этих всплесках приводит, в случае предположения о тепловой природе радиоизлучения во время этих всплесков, к фантастически высоким температурам. Поэтому естественным образом возникло предположение о нетепловом механизме возникновения этого излучения.

Указанные факты дали основание для введения Гусейновым [40] и Гордоном [41] гипотезы о релятивистских электронах в локальных солнечных магнитных полях, производящих радиовсплески и хромосферные вспышки. При этом излучение выделяется как путем образования линий испускания, так и в непрерывном спектре радиочастот, а иногда и оптических частот. Поэтому картина в известной мере похожа на явления, происходящие в звездах типа UV Кита и T Тельца. Небольшой

масштаб этих явлений на Солнце свидетельствует о том, что в звездах, имеющих большой возраст, процессы выноса внутризвездной энергии во внешние слои происходят весьма неинтенсивно, и подавляющая часть освобождающейся в такой звезде внутризвездной энергии выделяется во внутренних слоях.

§ 8. Дискретный характер процессов выноса и освобождения внутризвездной энергии

Выше мы постарались показать, что во многих нестационарных звездах мы имеем дело с явлением непосредственного освобождения внутризвездной энергии во внешних слоях звезд, что, по-видимому, оказывается следствием выноса во внешние слои вещества, являющегося носителем этой энергии.

В связи с этим встает вопрос — какие особенности характерны для этих процессов. Совершенно очевидно, что вопрос этот требует длительного, специального изучения. Однако в предварительной и пока еще в очень общей форме мы можем из всего изложенного и на основании ряда других наблюдательных данных сделать некоторые приблизительные, пока очень общие, заключения об этих особенностях:

1. Освобождение внутризвездной энергии во внешних слоях носит дискретный характер и происходит большими порциями.

2. Процесс освобождения внутризвездной энергии носит, практически, мгновенный характер. В пользу этого говорит быстрое развитие вспышек в тех случаях, когда мы наблюдаем их в наиболее чистом виде (звезды типа UV Кита). Тот факт, что излучение энергии в видимой части спектра происходит не мгновенно, а продолжается некоторое время (минуты в случае звезд типа UV Кита, сутки в случае атмосфер звезд типа Т Тельца и годы в случае кометообразных туманностей), не противоречит этому. В самом деле, прежде чем превратиться в лучистую энергию, излучаемую в мировое пространство, освобождающаяся внутризвездная энергия должна пройти через какие-то промежуточные или переходные состояния. Наличие этих переходных состояний может вызвать длительность процесса излучения.

3. Освобождение внутризвездной энергии сопровождается процессами возникновения новых атомных ядер, в том числе и таких, которые являются неустойчивыми либо сами по себе, либо же в звездных условиях.

4. Величина дискретных порций освобождаемой энергии меняется от звезды к звезде, а для данной звезды от одного акта выделения энергии к другому. Так, у звезд типа UV Кита количество выделяемой каж-

дый раз энергии порядка 10^{33} — 10^{34} эрга, в случае звезд типа Г Тельца порядка 10^{39} эрга. Вместе с тем, при хромосферных вспышках на Солнце освобождаются гораздо меньшие количества энергии.

Встает вопрос, характерны ли указанные особенности только для тех процессов освобождения энергии, которые происходят в самых внешних слоях звезд. Тот факт, что мы наблюдаем последствия дискретных и почти мгновенных процессов выделения энергии во внутренних слоях звезд в виде вспышек новых и сверхновых, говорит в пользу того, что дискретная природа процессов освобождения энергии распространяется, по крайней мере иногда, на те случаи, когда это освобождение происходит во внутренних слоях. Само собой разумеется, что нельзя отрицать возможности непрерывных процессов освобождения энергии наряду с дискретными как во внешних, так и во внутренних слоях звезд, однако мы не имеем пока никаких фактов, говорящих в пользу этого.

Не вникая в самый механизм освобождения энергии и только считая, что мы в данном случае имеем дело с процессами типа распада, мы можем все же поставить вопрос о том, как происходит процесс выноса того вещества, которое заключает в себе сначала эту энергию. В этом отношении представляют интерес данные о запаздывании радиовсплесков в длинных волнах по сравнению с короткими волнами. Эти данные как будто свидетельствуют в пользу того, что фактор, возбуждающий аномальное, не тепловое радиоизлучение, перемещается в атмосфере Солнца наружу со скоростью порядка нескольких сот километров в секунду. Однако на самом деле, не исключена возможность того, что первичный фактор, вызывающий всплеск, распространяется гораздо быстрее, но время, необходимое для превращения выделяемой энергии в радиоизлучение, зависит, скажем, от плотности среды и имеет большую длительность при меньшей плотности. Поэтому нам кажется, что было бы осторожнее принять, что названный выше порядок скорости является лишь нижней границей для скорости переноса вещества, из которого освобождается энергия.

§ 9. Заключение

Можно считать установленным, что в атмосферах звезд типа UV Кита и звезд типа Г Тельца мы наблюдаем в огромных масштабах выделение энергии, приносимой какими-то неизвестными носителями этой энергии из внутренних слоев звезды. Освобождающаяся при этом дискретными порциями энергия излучается затем в окружающее пространство в виде дополнительного теплового излучения, непрерывной эмиссии

и линий испускания. В старых звездах, подобных Солнцу, те же процессы во внешних слоях происходят в гораздо меньших масштабах.

Тот факт, что эти процессы особенно интенсивны у звезд типа Т Тельца, являющихся молодыми звездами, еще не вышедшими из состава звездных ассоциаций и, следовательно, сравнительно недавно возникшими из протозвезд, которые, по имеющимся данным [42], должны состоять из весьма плотного дозвездного вещества, говорит в пользу того, что речь идет об освобождении энергии при процессах распада дозвездного вещества, напоминающих явления радиоактивного распада. Если довести до конца этот взгляд, то нужно считать, что источником звездной энергии является дозвездное вещество, которое продолжает сохраняться в недрах звезд длительное время. Исходя же из стремления иметь единое объяснение происхождения звездной энергии, следует отказаться от предположения о термоядерных реакциях, как об основных источниках этой энергии.

Нам кажется, что присутствие лития в большом избытке в некоторых звездах типа N прямо говорит о несостоятельности представления о термоядерных реакциях, как источниках внутризвездной энергии, а избыток технеция в звездах типа S столь же прямо указывает направление, в котором следует искать решение задачи о природе этих источников.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Амбарцумян, Вводный доклад на симпозиуме по эволюции звезд, Москва, 1952.
2. Джой и Хьюмассон, *PASP*, **61**, 133, 1949.
3. Рок, *PASP*, **65**, 19, 1953.
4. Джой, *PASP*, **66**, 5, 1954.
5. Джой, *Ap. J.*, **102**, 163, 1945.
6. Кукаркин и Паренаго, *Общий каталог переменных звезд*. Изд. АН СССР, Москва—Ленинград, 1948.
7. Леман-Балановская, *П. З.*, **5**, 9, 1935.
8. Холопов, *П. З.*, **8**, 83, 1951.
9. Джой, *Ap. J.*, **110**, 424, 1949.
10. Церасская, *АН*, **170**, 339, 1906.
11. Хербиг, *PASP*, **60**, 2⁵⁶, 1948.
12. Струве и Свингс, *PASP*, **60**, 61, 1948. См. также: Струве, *Stellar Evolution*, стр. 109, 1950.
13. Хербиг, *Ap. J.*, **111**, 15, 1950.
14. Паренаго, *П. З.*, **7**, 169, 1950.
15. П. Ф. Шайн, *АН*, **234**, 41, 1928.
16. Хербиг, *J. RAS of Canada*, **46**, 222, 1952.
17. Уитней и Уэстон, *Ap. J.*, **107**, 371, 1948.

18. Харо, Ар. Ж., **117**, 73, 1953.
19. Гринштейн, Ар. Ж., **107**, 375, 1948.
20. Гринштейн и Хеней, Ар. Ж., **89**, 653, 1939.
21. Г. А. Шайн и В. Ф. Газе, Атлас диффузных газовых туманностей, Москва, 1952.
22. В. Г. Фесенков и Д. А. Рожковский, Атлас газово-пылевых туманностей, 1953.
23. Газе, Известия КраО, **10**, 213, 1953.
24. Шарплесс, Ар. Ж., **119**, 334, 1954.
25. Газе и Шайн, Известия КраО, **9**, 52, 1952.
26. Куффей, Н. А., **105**, 403, 1937.
27. Уэстон, А. Ж., **58**, 48, 1953.
28. Уэстон, А. Ж., **57**, 28, 1952.
29. Глизе и Вальтер, Z. f. Ar., **29**, 94, 1951.
30. Хербиг, Ар. Ж., **111**, 11, 1950.
31. Хербиг, Ар. Ж., **113**, 697, 1951.
32. Харо, Ар. Ж., **115**, 572, 1952.
33. Блаау, VAN, **11**, 405, 1952.
34. Хербиг, PASP, **66**, 19, 1954.
35. Шкловский, ДАН СССР, **90**, 983, 1953.
36. Меррил, Ар. Ж., **116**, 21, 1952.
37. Хюбене, Де-Ягер и Цваан, Сборник „Les processus nucléaires dans les Astres“, стр. 471, Лувен, 1954.
38. Де-Ягер, Цитированный сборник, стр. 460.
39. Северный, ДАН СССР (в печати).
40. Гусейнов, Кандидатская диссертация, Ереван, 1953.
41. Гордон, ДАН СССР, **94**, 813, 1954.
42. Амбарцумян, Сборник „Les processus nucléaires dans les Astres“ стр. 293.

О ПРИРОДЕ ЗВЕЗД ТИПА Т ТЕЛЬЦА*

За последние годы повысился интерес астрономов к переменным звездам, показывающим неправильные изменения блеска. Особенно много внимания привлекают переменные карлики, среди которых следует отметить звезды типа Т Тельца и звезды типа UV Кита. Звезды типа Т Тельца интересны тем, что они встречаются группами, образуя ассоциации, в свое время названные нами Т-ассоциациями. Оказалось, что между Т-ассоциациями и О-ассоциациями существует связь, заключающаяся в том, что в некоторых О-ассоциациях содержится значительное число переменных звезд типа Т Тельца, так что они одновременно являются и Т-ассоциациями. Очень большое число звезд типа Т Тельца содержится, например, в ассоциации Ориона, о чем свидетельствуют работы П. П. Паренаго и Аро, в ассоциациях Единорог I и Персей II, исследованных с этой точки зрения Хербигом. Заслуживает, в частности, внимания наличие звезд типа Т Тельца в этой последней ассоциации, которая, согласно Блаау, состоит в основном из группы расходящихся в разные стороны горячих гигантов. Поскольку молодость этой звездной группы можно считать доказанной, это является лишним аргументом в пользу молодости звезд типа Т Тельца.

Нет необходимости повторять все аргументы в пользу молодости звезд типа Т Тельца. Они изложены в наших статьях о звездных ассоциациях. Однако стоит остановиться вкратце на одном возможном альтернативном представлении, согласно которому звезды типа Т Тельца являются обычными карликами, случайно вошедшими в пылевое облако. В работе П. Н. Холопова было впервые показано, что в Т-ассоциации Тельца члены ассоциации расположены небольшими, сравнительно компактными группами, причем плотность некоторых из этих групп столь велика, что превосходит парциальную плотность карликов соответствующих светимостей в окружающем звездном поле. Этот факт противоречит представлению о случайно заходящих в туманность обыкновенных

* Труды IV совещания по вопросам космогонии, 344, М., 1955.

карликах. Впоследствии Хербиг показал, что огромная концентрация звезд типа Т Тельца около S Единорога также свидетельствует против гипотезы, будто звезды типа Т Тельца — обычные звезды общего галактического поля, случайно вошедшие в туманность и изменившие свой спектр благодаря взаимодействию с веществом туманности.

Есть основания считать, что звезды типа Т Тельца — молодые объекты. Многие из них, вероятно, имеют возраст порядка 10^6 лет.

Что же касается звезд типа UV Кита, то, как показал Делей, существует большая разница между кинематическими характеристиками этих звезд и нормальными карликами типа М. Это свидетельствует в пользу возможного различия среднего возраста этих двух категорий звезд. Иными словами, не исключено (хотя и не доказано), что звезды типа UV Кита моложе обычных карликов типа М.

Яркие линии и непрерывная эмиссия в спектрах переменных типа UV Кита и Т Тельца. Оба класса переменных звезд, о которых идет речь, отличаются тем, что переменность их блеска сопровождается наличием двух бросающихся в глаза спектральных характеристик. В их спектрах наблюдаются яркие линии и эмиссия непрерывного спектра иногда настолько сильная, что все линии поглощения бывают завуалированы.

В наиболее простом и как бы во взаимно разделенном виде эти два явления наблюдаются у некоторых звезд типа UV Кита. Именно поэтому мы останавливаемся столь подробно на этих звездах, хотя основным предметом нашего сообщения являются звезды типа Т Тельца. Звезды типа UV Кита характеризуются сравнительно простым строением кривой блеска. Нормально звезда находится в минимуме и время от времени происходят короткие вспышки, длящиеся всего несколько минут. Во время нормального блеска звезда имеет обычный спектр типа М, на который наложены линии излучения водорода и кальция. Во время вспышки обычный спектр поглощения совершенно заливается яркой непрерывной эмиссией, а линии излучения продолжают быть видимы. Таким образом, явление непрерывной эмиссии у них связано со вспышкой и возрастание блеска звезды происходит большей частью за счет этой непрерывной эмиссии.

Что же касается звезд типа Т Тельца, то там, наряду с явлением непрерывной эмиссии и усилением или ослаблением ярких линий, наблюдается также изменение цветовой температуры «нормального» спектра. Эта сложность спектральных явлений сочетается с крайней нерегулярностью кривой блеска, вследствие чего пока не представляется возможным привести в соответствие спектральные явления и изменения блеска.

Чтобы понять природу явления непрерывной эмиссии, наиболее це-

лесообразно рассмотреть те случаи, когда это явление выражено в наиболее резком и наиболее чистом виде. По-видимому, это имеет место во время вспышек звезд типа UV Кита. Быстрота вспышки свидетельствует о том, что в этом случае мы имеем дело не с нагреванием внешних слоев, и предположение о тепловом характере этого излучения должно быть отвергнуто с самого начала. Отсутствие линий поглощения на фоне спектра непрерывной эмиссии свидетельствует о том, что полное количество энергии (как тепловой, так и других видов), содержащейся при нормальном состоянии в каждый данный момент в тех наружных разреженных слоях, откуда непосредственно испускается энергия вспышки, на несколько порядков ниже энергии, испускаемой при вспышке.

Отсюда следует, что энергия вспышки привносится в эти внешние слои из глубоких недр звезды. Но этот процесс переноса, о чем подробно говорилось в нашей работе («Сообщения Бюраканской обсерватории», № 13, 1954), не может происходить посредством обычных механизмов теплопроводности и лучеиспускания. Само явление происходит так, что кажется необходимым допустить, что переносимая энергия сначала находится в какой-то потенциальной, скрытой форме, а затем лишь освобождается с огромной быстротой. По-видимому, при этом происходят процессы типа атомного распада, совершающиеся, однако, не в микроскопических, а в макроскопических масштабах. Количество выделяемой при этом энергии столь велико, что их источники могут быть только во внутренних слоях звезды и должны быть связаны с основными процессами освобождения звездной энергии.

Как упоминалось выше, в звездах типа Т Тельца мы наблюдаем более сложную картину. Наряду с меняющейся по своей интенсивности непрерывной эмиссией, мы наблюдаем также изменения цветовой температуры, влекущие изменения количества получаемого нами излучения. По-настоящему разделение обоих явлений никем не было произведено, и мы имеем здесь благодарную область, где параллельные исследования со щелевым спектрографом, объективной призмой, а также колориметрические наблюдения могли бы дать огромный эффект. Наконец, на указанные изменения двух родов накладываются изменения в интенсивности линий испускания.

Для объяснения этого сложного комплекса явлений следует допустить, как и было сделано в уже цитированной нашей последней работе, что освобождение энергии происходит в различных слоях наружной оболочки звезды. Если энергия освобождается под фотосферными слоями, то мы будем иметь дополнительное температурное излучение и менее резкие изменения блеска, а если она освобождается над фотосферными слоями, то мы должны иметь резкие изменения блеска и усиление непрерывной эмиссии. Интересно, что в некоторых случаях усиление

непрерывной эмиссии у звезд типа Т Тельца происходит внезапно, хотя длительность максимума непрерывной эмиссии может быть велика. В промежуточном случае, когда освобождение энергии происходит в самих фотосферных слоях, мы должны иметь и возрастание температуры и непрерывную эмиссию с накладывающимися на нее линиями поглощения. Очевидно, что в зависимости от глубины процесса будет меняться спектр ярких линий.

Не будем останавливаться здесь подробно на связи явления непрерывной эмиссии со свечением кометообразных туманностей. Относящиеся к этому данные уже изложены в упомянутой нашей работе. Хотелось бы особенно подчеркнуть, что в отдельных случаях значительная часть свечения кометообразной туманности может быть объяснена отражением света переменной звезды, в то время как в других случаях явление отражения света переменной не играет почти никакой роли и свечение туманности следует приписать явлению непрерывной эмиссии, происходящему в результате непосредственного освобождения энергии в самой туманности.

Нам кажется, что для более ясного понимания процессов, происходящих в звездах типа Т Тельца, крайне важно изучение тех случаев, когда те или иные стороны этих процессов выражены наиболее резко. Иными словами, имеет смысл обратиться к подробному изучению некоторых подтипов этого класса переменных звезд.

Остановимся на четырех разновидностях указанных объектов. Мы не преследуем целей классификации, а выделяем эти разновидности лишь для того, чтобы постараться при помощи более детального изучения понять отдельные стороны рассматриваемого явления.

Первая разновидность. Выше мы видели, что у звезд типа UV Кита явление непрерывной эмиссии проявляется с особой силой, причем оно протекает за время очень коротких вспышек, длящихся всего несколько минут. У большей части обычных звезд типа Т Тельца это явление выражено менее резко, но носит характер длительного процесса.

Есть, однако, объекты, у которых весьма длительный, продолжающийся по меньшей мере годами, процесс непрерывной эмиссии весьма резко выражен. Мы имеем в виду объекты разновидности DD Тельца.

У звезды DD Тельца (видимая величина $+14^m.5$) линии поглощения настолько слабы, что Струве и Свингс не наблюдали их совершенно на спектрограммах, полученных щелевым спектрографом. Однако Джой констатирует наличие очень слабых линий поглощения, которые позволяют отнести спектр поглощения к типу dK6e. Оба наблюдателя отмечают интенсивное непрерывное излучение, накладывающееся на линии поглощения, чем и объясняется слабость последних. По Струве и Свингсу, спектр простирается в ультрафиолетовую область, оставаясь доволь-

но интенсивным до 3300Å. Благодаря этому звезда является голубой, несмотря на поздний класс спектра поглощения. По-видимому, излучение в фиолетовой и ультрафиолетовой частях спектра целиком связано с непрерывной эмиссией. Итак, в этом случае непрерывная эмиссия настолько сильна, что мы имеем дело с совершенно измененным распределением энергии по спектру, по крайней мере в коротковолновой части.

У этой звезды протяжение спектра в далекую ультрафиолетовую часть сочетается с большой интенсивностью линий испускания бальмеровской серии. Яркие линии этой серии можно наблюдать до H_{14} . Кроме того, довольно интенсивна линия нейтрального гелия 4471Å. Наоборот, яркие линии металлов слабы, за исключением сравнительно интенсивных линий H и K ионизованного кальция. Таким образом, степень возбуждения в спектре испускания гораздо больше, чем у большей части обычных звезд типа T Тельца. Можно предположить, что большая яркость ультрафиолетового спектра за $\lambda 3600$ в известной части вызывается соответствующим рекомбинационным излучением водорода.

Эти совершенно исключительные спектральные особенности сочетаются с тем, что звезда DD Тельца вместе со своим спутником (CZ Тельца), являющимся также звездой типа T Тельца, находится внутри кометообразной туманности B10. Физическая связь между этой парой и туманностью не вызывает сомнения. Однако средний суммарный блеск обеих переменных в среднем на 7^m ниже того блеска, который необходим согласно соотношению Хаббла для освещения этой туманности. На это обратили внимание еще Свингс и Струве; они даже выдвинули предположение, что здесь, вместо отражения, мы имеем дело с флуоресценцией небольших твердых частиц. Однако гораздо проще допустить действие того же механизма непрерывной эмиссии, что приходится делать для ряда других кометообразных туманностей.

Уже после опубликования нашей работы о явлении непрерывной эмиссии появилась статья Хербига по изучению звезд типа T Тельца в ассоциации Единорог I вокруг NGC 2264. В южной части туманности NGC 2264 находится кометообразная деталь, которая в списке Г. А. Шайна и В. Ф. Газе получила номер S 167. В голове этой кометообразной туманности Хербигом обнаружены две звезды со спектрами типа T Тельца, составляющие пару с взаимным расстоянием компонентов всего в $7''$. Это звезды $LH_{\alpha} 61$ и $LH_{\alpha} 60$.

В то время как у большей части звезд типа T Тельца, обнаруженных Хербигом в рассматриваемой ассоциации, эмиссионный спектр водорода ограничивается первыми несколькими линиями серии Бальмера, у $LH_{\alpha} 61$ мы наблюдаем яркие линии этой серии по крайней мере до H_{11} . В этом отношении у $LH_{\alpha} 61$ имеется сходство с DD Тельца. Однако наиболее поразительно, что непрерывный спектр $LH_{\alpha} 61$ далеко прости-

рается в ультрафиолетовую часть спектра. Таким образом, наряду с вхождением в кометообразную туманность и наряду с двойственностью, спектр $\text{LN}_\alpha 61$ также свидетельствует о глубоком сходстве со звездой DD Тельца.

Следует вместе с тем отметить, что, по-видимому, имеется различие в абсолютных величинах обеих звезд. Хотя в обоих случаях звезды расположены в областях, где много темной материи, поглощение нельзя считать большим, так как коротковолновая часть спектра мало ослаблена. Если, пренебрегая поглощением, мы попытаемся оценить абсолютные величины, то получим для DD Тельца $+9^m$, а для $\text{LN}_\alpha 61 +6^m$.

Резкое проявление у этих звезд ряда свойств, присущих звездам типа Т Тельца, и предполагаемое постоянное присутствие непрерывной эмиссии заставляют думать, что данная разновидность является одним из крайних состояний звезд типа Т Тельца. Поскольку мы считаем, что звезды типа Т Тельца отличаются от других карликов по причине своей молодости, следует думать, что рассматриваемая разновидность составляет группу особенно молодых объектов этого типа.

Вторая разновидность. Это объекты Хербига — Аро, представляющие собой слабые звезды, окруженные туманностями очень малого диаметра. Спектр этих небольших туманностей напоминает спектр небольшой газовой туманности — оболочки, окружающей звезду Т Тельца. Дело в том, что, помимо кометообразной туманности, находящейся около Т Тельца, эта звезда окружена газовой туманностью очень небольшого радиуса, имеющей весьма своеобразный спектр. Туманности в объектах Хербига-Аро имеют, однако, гораздо большие протяжения и гораздо большую яркость в сравнении со своими центральными звездами. Самое интересное то, что в спектре этих туманностей содержатся запрещенные яркие линии, соответствующие невысокой степени ионизации. Абсолютная величина центральных звезд этих объектов около $+9^m$, т. е. примерно совпадает с абсолютной величиной DD Тельца. Наконец, несмотря на свою низкую абсолютную величину, ядра этих объектов являются, по данным Аро, голубыми звездами подобно DD Тельца. То, что эти объекты очень редки (даже в ассоциации Ориона) и что, несмотря на свою редкость, три из них расположены в виде короткой цепочки, длиной в $5'$, прямо говорит о их крайней молодости. Было бы весьма интересно обнаружить подобные объекты вне ассоциации Ориона, например в других близких О- и Т-ассоциациях.

Третья разновидность. Как показал Аро, в районе туманности Ориона мы имеем заметное число так называемых быстрых переменных звезд. Оставаясь обычно в состоянии нормального блеска, эти звезды по временам испытывают вспышки, весьма напоминающие вспышки звезд типа

UV Кита. Однако звезды типа UV Кита имеют абсолютные величины, нормальные для карликов типа M5e-M6e, т. е. между $+13$ и $+17^m$. Между тем абсолютная величина быстрых переменных в районе туманности Ориона порядка $+8^m.5$. Разница здесь настолько велика, что, по-видимому, нельзя отождествлять эти два вида объектов.

С другой стороны, есть, по-видимому, разница и в продолжительности вспышки. У быстрых переменных, обнаруженных в районе туманности Ориона, продолжительность вспышки в несколько раз больше, чем у звезд типа UV Кита, достигая нескольких десятков минут. Мы уже не говорим о том, что быстрые переменные, обнаруженные Аро, входят в состав ассоциации Ориона и в какой-то мере связаны с туманностью Ориона, в то время как известные нам звезды типа UV Кита находятся в непосредственных окрестностях Солнца, т. е. не входят ни в одну из известных O- или T-ассоциаций и не связаны с какой-либо диффузной туманностью.

Как показывает пример быстрой переменной № 8, спектр которой был снят Аро во время вспышки при помощи объективной призмы на камере Шмидта, возрастание блеска происходит почти исключительно за счет непрерывного спектра. Сопоставляя это с быстротой изменения блеска, мы должны и здесь констатировать, что имеем дело не с температурным излучением. Поэтому очень вероятно, что и в этом случае возрастание блеска обусловлено неожиданным появлением сильной непрерывной эмиссии. С другой стороны, абсолютные величины и наличие интенсивной линии H_{α} у части этих переменных сближает их с обычными звездами типа T Тельца, встречающимися в Орионе.

Хотя амплитуды наблюдаемых вспышек быстрых переменных меньше амплитуд некоторых вспышек у звезд типа UV Кита, тем не менее абсолютные масштабы явления в этом случае гораздо больше, чем можно увидеть, рассматривая изменения блеска, выраженные не в звездных величинах, а в интенсивностях.

Параллелизм между явлениями в звездах типа UV Кита и в быстрых переменных туманности Ориона — очевидное доказательство того, что изменения блеска переменных туманности Ориона вовсе не связаны с воздействием внешней среды, т. е. окружающей туманности, а есть проявление, характерное для определенного этапа жизни соответствующих звезд. Нам кажется, что дальнейшее изучение быстрых переменных в Орионе и в других ассоциациях должно принести много новых интересных результатов.

Четвертая разновидность. Она представлена пока только одним объектом — звездой BD $+67^{\circ}922$, расположенной в Драконе. Яркие линии в спектре этой звезды были обнаружены впервые Янсен и Высоцким в 1943 г. Некоторые спектральные наблюдения были выполнены в obser-

ватории Макдональд (в 1952 г.). В самое последнее время удалось произвести некоторые наблюдения в Бюраканской обсерватории, где и в дальнейшем параллельно будут вестись колориметрические, фотометрические, спектральные и поляриметрические наблюдения этой звезды. Остановимся на особенностях этой звезды несколько подробнее.

1. Звезда BD + 67°922 находится на галактической широте 41° и не входит ни в одну из обнаруженных до сих пор звездных ассоциаций.

2. Яркие линии водорода в спектре этой звезды достигают значительной интенсивности; на снимках, полученных с объективной призмой в Бюракане, можно проследить бальмеровскую серию в эмиссии до H_ξ включительно. На наших спектрограммах хорошо видна также линия $\lambda 4026$ гелия, а в 1952 г. в обсерватории Макдональд наблюдалась, кроме этой линии, еще весьма слабая линия излучения $\lambda 4389$.

3. Спектр поглощения принадлежит типу dG7. Однако в 1952 г. появилась сильная непрерывная эмиссия, вуалирующая линии поглощения. Непрерывная эмиссия простирается далеко в ультрафиолетовую часть спектра до $\lambda 3300$. На спектрах, полученных в Бюракане осенью 1954 г., видны следы некоторых линий поглощения. Так как снимки сделаны с объективной призмой, то это свидетельствует о том, что линии не так уже слабы. Поэтому нужно считать, что непрерывная эмиссия сравнительно ослабела. Таким образом, и в отношении непрерывной эмиссии и в отношении ярких линий эта звезда весьма сходна с DD Тельца. Более того, колориметрическое сравнение ультрафиолетовой и синей частей спектра показало, что в 1952 г. соотношение яркостей этих двух частей спектра соответствовало звезде класса V3, в то время как распределение энергии в видимой части соответствует классу G, т. е. находится в согласии со спектром поглощения. На спектрах, полученных Л. В. Мирзояном в Бюракане в сентябре 1954 г., ультрафиолетовая область продолжает быть интенсивной.

4. Самой удивительной особенностью этой звезды является наличие в ее спектре, наряду с непрерывной эмиссией, яркой линии $\lambda 4686$ ионизованного гелия. Линии, соответствующие столь высокому возбуждению и притом столь интенсивные у звезд типа T Тельца, ни в одном другом случае не наблюдались. На всех снимках Л. В. Мирзояна эта линия бросается в глаза, являясь одной из наиболее интенсивных.

5. Как было установлено А. С. Шаровым в Институте им. П. К. Штернберга по московским пластинкам, блеск этой звезды испытывает неправильные изменения с амплитудой до двух величин. Переменность звезды подтверждена Бадаляном на основании снимков, полученных в Бюракане в сентябре и октябре 1954 г. Кроме того, на карте атласа Франклин-Адамса на снимке, полученном в 1908 г., звезда гораздо сла-

бее, чем на сентябрьских снимках 1954г. Таким образом, она является переменной звездой.

6. В связи с различными попытками объяснения явления непрерывной эмиссии интересно изучить степень ее поляризации. В отношении звезды $BD + 67^{\circ}922$ такое поляриметрическое изучение возможно. Предварительные фотоэлектрические определения поляризации на 40-сантиметровом рефлекторе в течение четырех разных ночей показали, что излучение звезды не показывает большой поляризации. Вследствие слабости звезды точность наблюдений невелика и пока можно с уверенностью говорить о верхнем пределе порядка 2%.

7. Как упоминалось выше, галактическая широта этой звезды $b = 41^{\circ}$ галактическая же долгота равна $66^{\circ}.5$. Иными словами, звезда имеет почти точно галактическую долготу апекса движения Солнца по отношению к быстролетящим звездам, т. е. при вращении Солнца вокруг центра Галактики оно движется в направлении этой галактической долготы. В связи с этим чрезвычайно интересно, что лучевая скорость звезды по линиям поглощения равна — 138 км/сек , а по линиям излучения — 145 км/сек (Маунт Вилсон). В данном случае, как и у других звезд типа Т Тельца, существует разница между лучевыми скоростями, определенными по линиям поглощения и линиям излучения, что создает неуверенность в том, чему равна настоящая скорость звезды по лучу зрения. Но имея в виду, что в случае обычных звезд типа Т Тельца оба значения лежат в пределах нескольких десятков километров и сами звезды принадлежат к плоским подсистемам, можно думать, что разница между действительной скоростью звезды и средним значением, полученным по линиям излучения и поглощения, не превосходит двух-трех десятков километров. Это обстоятельство вместе с большой галактической широтой делает до некоторой степени вероятным, что звезда $BD + 67^{\circ}922$ имеет действительно большую скорость приближения к нам, т. е. входит в сферическую составляющую населения Галактики.

8. Положение звезды $BD + 67^{\circ}922$ в пределах точности соответствует координатам радиозвезды 16.02 списка Райля. Имея в виду, что в пределах двух-трех градусов вокруг этой звезды нет ни одной яркой галактики или какого-либо другого особенного объекта, можно предложить отождествить указанный дискретный источник радиоизлучения с $BD + 67^{\circ}922$.

Все сделанные выше выводы нуждаются еще в проверке. Однако совершенно очевидно, что здесь мы имеем дело с исключительно важным объектом, который, благодаря своему блеску (десятая величина), вполне доступен для всестороннего изучения.

Согласно представлениям, развитым в нашей предыдущей работе, в звездах типа Т Тельца мы имеем дело со случаем, когда процессы осво-

бождения внутризвездной энергии происходят не только во внутренних слоях звезды, но и в ее атмосфере и даже, иногда, в окружающем звезду пространстве. Факты, нами приведенные, свидетельствуют о том, что дальнейшее изучение перечисленных выше и аналогичных им разновидностей переменных звезд типа Т Тельца должно привести к интересным выводам о физике процессов освобождения внутризвездной энергии.

О ПРИРОДЕ КОМЕТООБРАЗНЫХ ТУМАННОСТЕЙ*

Свечение кометообразных туманностей во многих случаях нельзя объяснить простым отражением излучения звезды. Многие факты свидетельствуют в пользу того, что свечение в этих случаях вызывается теми же причинами, что и непрерывная эмиссия в спектрах звезд типов Т Тельца и UV Кита. Как показано в другой работе автора, непрерывная эмиссия в спектрах звезд указанных типов является одним из проявлений процесса освобождения внутризвездной энергии. Такую же природу во многих случаях имеет свечение кометообразных туманностей. Сделана попытка установления связи между кометообразными туманностями и кометообразными включениями в диффузных туманностях.

В работе, которая была нами доложена на Совещании исследователей переменных звезд в мае 1954 г. в Ленинграде и которая в несколько расширенном виде печатается в «Сообщениях Бюраканской обсерватории», был подвергнут рассмотрению вопрос о природе непрерывной эмиссии, наблюдаемой в спектрах некоторых звезд типа Т Тельца и во время вспышек звезд типа UV Кита. Было показано, что непрерывное свечение, наблюдаемое в этих случаях, родственно по своей природе свечению кометообразных туманностей. Настоящая статья посвящена анализу имеющихся данных об этих туманностях.

1. Большинство известных нам кометообразных туманностей связано с той или иной звездой. При этом обычно звезда оказывается на остром конце туманности, образуя как бы ее «голову». В отдельных случаях (например у туманности около Т Тельца) звезда не находится в пределах видимой части туманности, но расположена таким образом, что ее можно считать находящейся на вершине воображаемого продолжения веерообразного изображения туманности. Почти во всех случаях положение звезды по отношению к туманности столь характерно, что не возникает никаких сомнений в их физической связи.

2. В подавляющем большинстве случаев звезды, являющиеся ядрами кометообразных туманностей, принадлежат к числу переменных звезд. Обычно это звезды типа Т Тельца. Поскольку в настоящее время

* Вопросы космогонии, 4, 76, 1955.

имеются все основания считать переменные типа Т Тельца карликами, только что прошедшими стадию своего формирования, наличие у звезды придатка в виде кометообразной туманности следует считать одной из особенностей наиболее ранней стадии в жизни звезды.

В некоторых случаях с одной кометообразной туманностью бывают связаны сразу две переменные звезды. При этом генетическая связь между переменными звездами не вызывает сомнения, ибо кометообразные туманности имеют обычно очень малые угловые размеры, и случайное проектирование на туманность или непосредственно около нее второй переменной звезды, и притом того же типа, имеет ничтожную вероятность. Поэтому в подобных случаях переменные звезды должны рассматриваться как двойные системы. Впрочем, это вовсе не означает, что в указанных системах должно быть эллиптическое движение компонентов по отношению друг к другу. Скорее всего, исходя из космогонических соображений, аналогичных тем, которые нами были развиты по другому поводу [1], следует ожидать, что в большинстве случаев это должны быть системы с положительной полной энергией.

Можно привести следующие примеры связи переменных звезд с кометообразными туманностями: звезда Т Тельца связана с туманностью Хинда NGC 1555, звезда R Единорога связана с туманностью NGC 2261, звезда DG Тельца связана со светлой туманностью Барнарда В100, звезда RY Тельца связана с В96, звезда ВМ Андромеды — с безымянной туманностью, пара переменных DD Тельца и CZ Тельца — с туманностью В10, звезда R Южной Короны — с туманностью NGC 6729 и TY Южной Короны — с туманностью NGC 6726. Во всех перечисленных восьми случаях мы имеем связь звезд типа Т Тельца с кометообразными туманностями. К этим случаям примыкают два других: переменная НК Ориона, относящаяся к типу XX Змееносца и имеющая спектр А4ер, и соседняя с ней звезда HI Ориона связаны с кометообразной туманностью В122, а вспыхнувшая в 1937 г. звезда FU Ориона связана с безымянной кометообразной туманностью.

3. Некоторые из кометообразных туманностей являются переменными. В этом отношении классическими примерами являются следующие три туманности: NGC 1555, NGC 2261 и NGC 6729. Естественно, что первым предположением явилась гипотеза о том, что туманности отражают свет связанных с ними звезд, которые сами являются переменными. Непрерывный спектр кометообразных туманностей свидетельствует как будто в пользу этого предположения. Однако на примере Т Тельца выяснилось, что нет сколько-нибудь хорошего соответствия между изменениями яркости туманности и звезды. В силу этого приходится считать, что по крайней мере значительная часть излучения кометообразной туманности имеет иное происхождение.

4. В случае кометообразной туманности В10 мы имеем разительный случай несоответствия между размерами туманности и звездной величиной связанной с ней звезды DD Тельца. Как установили Струве и Свингс, чтобы в этом случае объяснить свечение туманности отражением излучения звезды, нужно, чтобы звезда обладала блеском на семь величин большим, чем наблюдаемый [2]. В частности, измерения показывают, что интегральный блеск туманности значительно превосходит блеск звезды. Отсюда можно заключить, что подавляющая часть излучения туманности не является отраженным светом звезды. Интересно, что как раз у звезды DD Тельца весьма резко выражено явление непрерывной эмиссии в спектре, вуалирующей линии поглощения.

5. Тот факт, что в спектрах многих звезд типа Т Тельца наблюдается сильная непрерывная эмиссия, указывает, как это было нами показано [3], на то, что в некоторых случаях в самых внешних слоях атмосфер этих звезд (а иногда, может быть, и вне пределов их атмосфер) протекает процесс нетеплового испускания очень больших количеств энергии, причем для этого испускания характерен непрерывный спектр. Приходится допустить, что необходимая для этих процессов энергия выносится значительными порциями из внутренних областей звезды и освобождается еще не известным нам способом во внешних слоях, превращаясь, в частности, в лучистую энергию. Поскольку звезды типа Т Тельца обладают этим свойством, то естественно полагать, что и свечение кометообразных туманностей, обладающих непрерывным спектром, может быть объяснено тем же механизмом непрерывной эмиссии. При этом следует только принять, что превращение энергии, вынесенной из недр звезды, в видимое излучение происходит уже в объеме самой кометообразной туманности.

6. Таким образом, причиной свечения кометообразной туманности в конечном счете является связанная с ней переменная звезда, хотя часто мы здесь не имеем простого механизма отражения света. В пользу непосредственной связи свечения туманности со звездой свидетельствует и тот простой факт, что кометообразная туманность около FU Ориона появилась сразу после вспышки этой звезды.

Исследование явлений в звездах типа UV Кита и Т Тельца показывает, что энергия, идущая на непрерывную эмиссию, выделяется из самой звезды определенными порциями практически мгновенно. Однако выделение этой энергии в виде непрерывной эмиссии требует некоторого времени. Для звезд типа UV Кита это время измеряется минутами, в случае Т Тельца — сутками. Сравнительная медленность изменений яркости кометообразных туманностей указывает на то, что в условиях туманности отдача энергии продолжается годы. О том, что иногда выделенная порция энергии полностью исчерпывается, говорит, например, факт полного ис-

15 Труды

чезновения туманности NGC 1555 в семидесятих годах прошлого века. Возобновление свечения этой туманности в конце прошлого века связано, очевидно, с выделением новой порции энергии из недр звезды. Разница в сроках высвечивания между верхними слоями атмосферы звезды и туманностью свидетельствует о том, что эти сроки зависят от условий, господствующих в среде, где происходит высвечивание.

7. Значительное число звезд типа Т Тельца встречается в различных светлых диффузных туманностях (большая туманность Ориона, туманность IC 434 в Орионе, NGC 2264, NGC 7023 и другие), образуя в них богатые Т-ассоциации. Переменные, наблюдаемые в Тельце, в том числе и такие, как DD Тельца, RY Тельца, T Тельца, DG Тельца, которые связаны с кометообразными туманностями, входят в большую темную диффузную туманность Тельца, образуя одну большую ассоциацию, состоящую из нескольких групп, подробно исследованных Холоповым [4]. Естественно, возникает вопрос: нет ли и в светлых диффузных туманностях, содержащих в себе большие группы звезд типа Т Тельца, таких, в которых наряду со звездами типа Т Тельца имеются кометообразные туманности? Понятно, что обнаружение подобных *кометообразных включений* в светлых туманностях должно быть гораздо более трудным делом, чем в случае темных туманностей, поскольку яркий общий фон диффузной туманности может послужить препятствием для их обнаружения. Однако имеющиеся данные свидетельствуют, что и в светлых туманностях наблюдаются отдельные кометообразные включения. Рассмотрим здесь несколько примеров таких включений.

8. *Большая туманность Ориона.* В районе туманности Ориона Харо [5] обнаружил небольшую кометообразную туманность, которая включена им в список пекулярных объектов туманности Ориона под номером 13а. В голове этой туманности находится весьма слабая инфракрасная звезда. Туманность видна на снимках в синих, красных и инфракрасных лучах, но связанная с нею звезда настолько слаба в синих лучах, что вообще не видна на синем снимке, почти не видна на красном снимке и заметна лишь на фотографии в инфракрасных лучах, будучи все же слабее туманности. Гипотеза об отражении света приводит и в этом случае к предположению, что свет звезды претерпевает в голове туманности столь сильное покраснение, что звезда становится инфракрасной. Между тем, мы знаем о наличии в области туманности Ориона известного числа других инфракрасных звезд столь же слабого блеска, не связанных с кометообразными туманностями. Поэтому более естественно предположить, что причиной свечения объекта 13а в синих лучах является его собственная непрерывная эмиссия.

Помимо объекта 13а, имеются данные еще о четырех кометоподобных объектах, находящихся сравнительно близко к Трапедии Ориона.

Это небольшие туманности, обнаруженные Харо на инфракрасных снимках и получившие у него обозначения 5а, 6а, 7а и 8а. Из них объекты 7а и 8а содержат в себе весьма слабые инфракрасные звезды, которые, вследствие их низкой светимости, не могут освещать связанные с ними кометообразные туманности. В двух других объектах (5а и 6а) звезды вовсе не обнаружены! Несмотря на это и несмотря на близость Трапеции, эти объекты излучают непрерывный спектр. Если бы их непрерывное излучение вызывалось прямым освещением от Трапеции или других горячих звезд, входящих в ассоциацию Ориона, то нельзя было бы понять тот факт, что эти туманности выделяются прежде всего в инфракрасных лучах. Поэтому естественно и в данном случае рассматривать свечение всех этих объектов как следствие непрерывной эмиссии, считая, что в случае объектов 5а и 6а звезды, обуславливающие появление непрерывной эмиссии, настолько слабы, что не выходят на снимках.

9. *Туманность S 140 в Орионе.* Существенную часть этой туманности составляет периферическое образование, имеющее вид довольно правильного, но неполного эллипса, сравнительно мало вытянутого. Туманность была открыта в Симеизе Шайном и Газе [6] и характерна тем, что, в свою очередь, составляет одну из деталей большой периферической туманности вокруг цепочки λ Ориона. Эта большая периферическая туманность тоже была открыта Шайном и Газе в Симеизе [7]. Прекрасный снимок туманности S 140, составляющей, как указано, деталь большого кольца вокруг λ Ориона, можно найти в работе Харо, Ириарте и Шавира [8]. В свою очередь, малая периферическая туманность S 140 имеет в качестве детали в своем центре кометообразную туманность В 122, которая связана со звездами НК Ориона и НИ Ориона. При этом звезда НК Ориона, как уже упоминалось, имеет спектр A4ep и является переменной типа XX Змееносца. Центральное положение кометообразной туманности В122 и связанных с ней звезд по отношению к периферической туманности S 140 вряд ли может быть случайным и указывает на генетическую связь этих объектов.

10. *Туманность около FU Ориона.* Существует удивительное сходство между окрестностями FU Ориона и туманностью S 140. Около FU Ориона имеется небольшая кометообразная туманность, однако эта туманность вместе с FU Ориона находится внутри дугообразной газовой туманности, открытой Шайном и Газе [9], с общим протяжением около $30'$. Более того, эта дугообразная туманность находится на внешней стороне большого кольца вокруг цепочки λ Ориона и может также рассматриваться как некоторая деталь на этом большом кольце. Если это так, то получается полное сходство во взаимоотношениях звезды НК Ориона и связанной с ней кометообразной туманности с цепочкой λ Ориона, с одной стороны, и звезды FU Ориона и связанной с ней кометообразной ту-

манности с той же цепочкой — с другой. Нам кажется, что это сходство заслуживает большого внимания с космогонической точки зрения.

11. *Туманность IC 410*. Туманность IC 410 содержит в себе O-скопление NGC 1893. Согласно Шарплессу (см. [4]), в это скопление входят пять звезд типа O, несколько звезд типа B0 и другие звезды, имеющие более низкую светимость. В это скопление входит система типа Трапеции BD + 33°1026 и другие кратные системы. Туманность IC 410 имеет диаметр, превосходящий полградуса. Большая плотность изображения на снимках в лучах H_{α} (см. атласы Крымской и Алма-Атинской обсерваторий) указывает на то, что большая часть свечения связана с возбуждением газов упомянутыми выше горячими звездами. Однако в состав туманности входят два бросающихся в глаза образования, которые представляют собой кометообразные туманности. В списке Шайна и Газе они обозначены отдельными номерами S 129 и S 130. Туманность S 129 имеет длину порядка 5', а S 130 — порядка 7'. Особенно хорошо видны эти туманности на снимке 13d, во второй части атласа В. Г. Фесенкова и Д. А. Рожковского. В обоих случаях в районе «головы» кометообразной туманности находятся слабые звезды. Однако не может быть и речи о том, чтобы они могли освещать связанные с ними кометообразные туманности. В этих случаях соотношение Хаббла было бы нарушено почти в такой же степени, как и в случае звезды DD Тельца, связанной с кометообразной туманностью В 10. Поэтому возможно, что и в этом случае действует механизм непрерывной эмиссии.

12. Когда настоящая статья уже была готова к печати, в Бюракане была получена работа Хербига, посвященная исследованию звезд со спектрами типа Т Тельца в ассоциации Единорога [10]. Из этой работы видно, что кометообразная туманность S 167, которая, согласно Шайну и Газе, составляет южную деталь большой туманности NGC 2264, находится на окраине группировки звезд типа Т Тельца, окружающей звезду HD 47887 типа В3.

В голове туманности находится двойная звезда, обе составляющие которой (LH_{α} 61 и LH_{α} 62) имеют спектр типа Т Тельца. Более яркая составляющая LH_{α} 61 имеет спектр, описание которого почти точно совпадает с описанием спектра DD Тельца, находящейся в туманности В10 в Тельце. Соотношение между блеском переменной и размерами туманности в обоих случаях отличается на одну и ту же величину (около 7 звездных величин) от соотношения Хаббла. Наконец, в обоих случаях мы имеем дело с двойной звездой, обе составляющие которой относятся к типу Т Тельца. Разница заключается лишь в том, что около туманности S 167 имеется звезда HD 47887, которая, по-видимому, входит в ту же ассоциацию и может рассматриваться как возможный источник освещения туманности. Однако спектральные данные, относящиеся к

H_α 61, указывают на необычайно сильную непрерывную эмиссию в атмосфере этой звезды. У этой звезды, так же как и у DD Тельца, наиболее резко выражены аномальные явления, характерные для звезд Т Тельца: непрерывная эмиссия и большое число ярких линий водорода.

13. *Диффузная туманность IC 405*. С первого взгляда это обычная газовая туманность. Тот факт, что в ней заключена звезда AE Возничего, имеющая спектр типа O, позволяет считать, что свечение туманности объясняется обычным механизмом флуоресценции. Наличие ярких линий в спектре туманности подтверждает это заключение. Однако уже Гринстейн и Хеней [11] констатировали наличие заметного непрерывного спектра. Непрерывный спектр заметен также на снимке, полученном Г. А. Гурзядяном при помощи небулярного спектрографа Бюраканской обсерватории. Фотографии туманности IC 405 можно найти в атласах Крымской и Алма-Атинской обсерваторий.

Как показала в своей работе В. Ф. Газе [12], вид и строение туманности на снимке в лучах необычайно резко отличаются от ее вида и строения на снимке в фотографических лучах.

Разница заключается в том, что в фотографических лучах от звезды AE Возничего тянется яркая и довольно резко ограниченная струя, изогнутая в виде дуги, между тем как в лучах H_α эта наиболее выдающаяся деталь туманности совершенно не видна. Для предположения, что свечение струи может вызываться в основном излучением других ярких линий, встречающихся в спектрах диффузных туманностей, по-видимому, нет оснований. В самом деле, речь может идти здесь лишь о дублете λ 3727 (OH). Но трудно предполагать особенно сильное свечение этой линии в той части струи, которая близка к звезде AE Возничего, так как в этой части туманности кислород должен быть почти целиком вторично ионизован. Как сообщил мне Г. А. Шайн, на снимке, где линия λ 3727 весьма ослаблена, струя, исходящая из AE Возничего, резко выделяется. Поэтому естественно полагать, что свечение струи в значительной степени состоит из непрерывного спектра, подобного спектрам кометообразных туманностей. Сходство рассматриваемой струи с кометообразными туманностями состоит не только в том, что эта струя как бы вытекает из звезды, но и в том, что сама звезда является переменной, имеющей неправильные изменения блеска.

Заметим, что мы не знаем случаев, когда звезда типа O9 освещает в непосредственном соседстве с собою пылевую туманность. Остается предположить, что и здесь мы имеем дело с непрерывной эмиссией.

Итак, мы можем полагать, что струя, исходящая из звезды AE Возничего, является кометообразным включением в диффузную туманность IC 405.

14. Своеобразная форма кометообразных туманностей и кометооб-

разных включений в светлых диффузных туманностях требует специального объяснения. С первого взгляда кажется, что возможны два объяснения: а) форма туманности объясняется действительным распределением диффузного вещества вокруг звезды и б) вытянутая форма туманности объясняется направленностью того фактора, который вызывает непрерывную эмиссию.

Однако совершенно очевидно, что при наличии вращения звезд второе предположение должно привести к выводу, что направление «хвоста» должно с течением времени сильно меняться, чего не наблюдается. Поэтому мы должны заключить, что кометообразная туманность представляет собой реальное сгущение в пространстве, окружающем звезду.

Возможно также, что кометообразные туманности являются заметными сгущениями в тех темных или светлых туманностях, в которые они включены. Во всяком случае, из предыдущего ясно, что кометообразная туманность является некоторым уплотнением в той части большой туманности, которая непосредственно окружает связанную с ней звезду.

15. Не вызывает никаких сомнений, что кометообразные туманности не могут быть статическими образованиями. Трудно представить, чтобы силы, действующие в окрестностях звезды, приводили к длительному сохранению наблюдаемой формы. Поэтому или нужно считать, что такая туманность существует весьма короткое время, или допустить возможность сравнительно длительного стационарного течения вещества.

В обоих случаях возможны два представления: истечение материи из звезды и втекание вещества окружающей туманности в звезду. Произведенные Санфордом [13] измерения смещения линий в спектре Т Тельца на спектрограмме с большой дисперсией, снятой 9 января 1947 г., подтвердили вывод Джоя, сделанный на основе измерений спектрограммы от 20 сентября 1940 г., о том, что некоторые линии поглощения имеют компоненты, принадлежащие веществу, которое истекает из звезды со скоростью порядка 140 км/сек. Поэтому звезда должна быть окружена расширяющейся газовой оболочкой. С другой стороны, рассматривая гипотезу втекания, трудно понять, почему это втекание вещества туманности в звезду должно происходить только с одной стороны. Таким образом, можно полагать, что в данном случае мы имеем дело с истечением вещества из звезды. В силу сказанного и исходя из развитого нами представления об одновременном возникновении звездных групп и диффузных туманностей из протозвезд, можно нарисовать следующую картину развития Т-ассоциаций.

Перначальное тело — протозвезда — в какой-то момент делится на части, давая начало группе расходящихся звезд, которые нами наблюдаются как звезды типа Т Тельца. Одновременно часть вещества прото-

звезды превращается в диффузное вещество и образует диффузную туманность. Образовавшиеся звезды типа Т Тельца являются нестационарными объектами. В них происходят процессы выброса внутризвездного вещества (которое может быть идентично с дозвездным веществом), и в некоторых случаях истекающее вещество может дать начало кометообразной туманности.

16. Особый интерес представляет тот факт, что кометообразные туманности почти всегда связаны с переменными звездами. Однако возможно, что это правило имеет исключения. Не говорим здесь о тех случаях, когда нет данных о переменности или постоянстве блеска звезды или когда звезда настолько слаба, что она вовсе не наблюдается. Мы имеем в виду случаи, когда кометообразная туманность кажется связанной с более или менее изученной звездой постоянного блеска. В качестве примера можно привести туманность NGC 1515 в темном облаке Тельца. В этой маленькой яркой туманности находится звезда BD + 30°623 девятой величины, имеющая спектр типа А. Звезда, находящаяся в туманности, не обнаруживает заметных изменений яркости, а также ярких линий в спектре. Следует либо учитывать наличие подобных исключений, либо считать, что в данном случае звезда случайно проектируется на туманность, а настоящее ядро туманности является гораздо более слабой и потому не выходящей на снимках звездой.

Однако все же, несмотря на такие примеры, переменность звезд, связанных с кометообразными туманностями, является общим правилом. При этом из числа переменных низкой светимости, как правило, встречаются переменные типа Т Тельца, из числа переменных звезд средней светимости — звезды типа XX Змееносца, составляющие, по-видимому, продолжение класса звезд типа Т Тельца в верхней части главной последовательности. Наконц, с кометообразными туманностями связаны такие горячие переменные звезды, как γ Кассиопеи и АЕ Возничего. Кроме того, в случае FU Ориона мы имеем сверхгигант типа F, претерпевающий подъемы и спады блеска огромной амплитуды, причем только во время максимума можно говорить о принадлежности звезды к числу сверхгигантов. Таким образом, переменные звезды, связанные с кометообразными туманностями, охватывают всю главную последовательность, область горячих звезд и, по-видимому, область сверхгигантов. Это означает, что явление кометообразных туманностей играет более важную роль в эволюции звезд, чем кажется с первого взгляда.

Может оказаться, что продолжительность существования кометообразных туманностей очень мала по сравнению с длительностью той ранней стадии в жизни звезды, когда она является переменной. Это наиболее правдоподобное объяснение того, почему не все переменные звезды перечисленных выше категорий имеют кометообразные «хвосты».

Но возможно также, что только в тех случаях, когда возникающая звезда характеризуется определенными значениями параметров, около нее может возникнуть и удержаться длительное время кометообразная туманность таких размеров и яркостей, что мы можем ее наблюдать.

17. Все сказанное заставляет считать, что кометообразные туманности играют очень большую роль в процессе развития звезд и на изучение этих туманностей следует обратить особое внимание. Целью настоящей статьи и является привлечь внимание астрономов к этим объектам.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. А. Амбарцумян, Вестн. АН СССР, № 12, 49, 1952.
2. O. Struve, P. Swings, PASP, **60** 61, 1948.
3. В. А. Амбарцумян, Сообщ. Бюраканск. обс., вып. 13, 1954.
4. П. Н. Холопов, Переменные звезды, **8**, 83, 1951.
5. G. Haro, Ap. J., **117**, 73, 1953.
6. Г. А. Шайн, В. Ф. Газе, Изв. Крымск. астрофиз. обс., **9**, 52, 1953.
7. Г. А. Шайн, В. Ф. Газе, Изв. Крымск. астрофиз. обс., **10**, 20, 1953.
8. G. Haro, B. Iriarte, E. Chavira, Boletín de los observatorios Tonantzintla y Tacubaya, № 8, 3, 1954.
9. Г. А. Шайн, В. Ф. Газе, Изв. Крымск. астрофиз. обс., **10**, 207, 1953.
10. G. H. Herbig, Ap. J., **119**, 483, 1954.
11. J. Greenstein, L. Henyey, Ap. J., **89**, 653, 1939.
12. В. Ф. Газе, Изв. Крымск. астрофиз. обс., **10**, 213, 1953.
13. R. Sanford, PASP, **59**, 134, 1947.

ЗВЕЗДЫ ТИПОВ Т ТЕЛЬЦА И UV КИТА И ЯВЛЕНИЕ НЕПРЕРЫВНОЙ ЭМИССИИ*

За последние годы наши знания о звездах типа Т Тельца и UV Кита значительно расширились благодаря накоплению большого количества фактических данных. В результате мы имеем возможность в настоящее время построить некоторые предположения, касающиеся причин нестационарности этих звезд, исходя из наблюдательных данных. Такой подход к решению вопроса резко отличается от того, который до сих пор применялся при попытках построения теории переменных звезд той или иной категории. Обычно до сих пор шли по пути построения моделей. Само собой разумеется, что мы не исключаем возможности решения проблемы на основе какой-либо теоретической модели.

Однако физические явления, наблюдаемые в звездах указанных типов, настолько необычны, что прежде всего необходимо составить представление о самой природе этих явлений и их взаимной связи. Только после этого может идти речь о подробной математической разработке какой-либо определенной модели.

Поэтому мы позволим себе сопоставить некоторые относящиеся к звездам указанных двух типов факты, которые кажутся нам существенными для выяснения природы их переменности.

Звезды типа Т Тельца интересны тем, что они встречаются группами, составляя ассоциации. Эти ассоциации были нами в свое время названы Т-ассоциациями. Это название впоследствии себя оправдало. Оказалось, что между Т-ассоциациями и обычными О-ассоциациями существует связь, выражающаяся прежде всего в том, что некоторые О-ассоциации содержат в своем объеме значительное число переменных типа Т Тельца и поэтому одновременно являются Т-ассоциациями. Очень большое количество звезд типа Т Тельца содержится, например, в ассоциации Ориона, о чем свидетельствуют работы Паренаго и Харо, в ас-

* К симпозиуму по нестационарным звездам. К IX съезду МАС, 5, М., 1955.

социациях Единорог I и Персей II, исследованных с этой точки зрения Хербигом.

Особенного внимания заслуживает присутствие звезд типа Т Тельца в ассоциации Персей II, которая, согласно Блаау, представляет собой расходящуюся группу горячих звезд. Поскольку молодость этой группы может считаться установленной, то естественно полагать, что и звезды типа Т Тельца являются молодыми объектами.

Мы не будем останавливаться здесь на других аргументах, свидетельствующих о молодости звезд типа Т Тельца. Упомянем лишь вкратце о возможном альтернативном представлении, согласно которому звезды типа Т Тельца являются обычными карликами, случайно попавшими в пылевое облако. Это представление возникло в связи с тем, что звезды типа Т Тельца действительно весьма часто встречаются в темных или светлых диффузных туманностях.

В работе Холопова было впервые показано, что в Т-ассоциации Тельца члены ассоциации расположены небольшими, сравнительно компактными группами, причем плотность некоторых из этих групп столь велика, что превосходит парциальную плотность карликов соответствующих светимостей в окружающем звездном поле. Этот факт противоречит представлению о случайно заходящих в туманность обычных карликах. Впоследствии Хербиг показал, что в ассоциации Единорог I мы наблюдаем еще более плотные группировки звезд типа Т Тельца. Таким образом, следует отказаться от гипотезы о случайно зашедших в туманность карликах и признать, что звезды типа Т Тельца, составляющие данную группу, имеют общее происхождение.

С другой стороны, поскольку большая часть звезд типа Т Тельца находится в диффузных туманностях, следует считать, что эти звезды успевают терять характеристики Т Тельца уже до того, как туманность рассеивается или они уходят из туманности. Принимая во внимание, что по современным представлениям диффузные туманности, как нестационарные образования, должны иметь возраст порядка 1—2 миллионов лет, мы должны заключить, что звезды типа Т Тельца не могут быть старше 1—2 миллионов лет. Поэтому наблюдаемые особенности звезд типа Т Тельца следует считать связанными с внутренними свойствами этих молодых объектов.

Известные нам представители звезд типа UV Кита находятся в ближайших окрестностях Солнца, так как вследствие низкой светимости нам трудно наблюдать их на больших расстояниях. Поэтому предположение о существовании связанной с ними туманности равносильно предположению о том, что Солнце находится внутри некоторой диффузной туманности. Если мы примем это предположение, то нужно будет допустить, что плотность этой туманности ничтожна или, во всяком случае,

настолько мала, что не оказывает никакого воздействия на спектральные особенности Солнца. Тем меньше должно быть это воздействие на быстро движущиеся через туманность слабые карлики типа М. Поэтому не может быть и речи о возникновении ярких линий в их спектрах, а в особенности вспышек в результате такого воздействия.

Таким образом, как в случае звезд типа Т Тельца, так и в случае звезд типа UV Кита, переменность звезд и сопровождающие ее спектральные особенности являются свойствами, связанными с внутренними закономерностями развития этих объектов.

Непрерывная эмиссия. Наиболее важной чертой, объединяющей рассматриваемые два класса переменных звезд, является непрерывная эмиссия. У звезды UV Кита непрерывная эмиссия наблюдается, согласно Джою, во время ее вспышек, а у звезд типа Т Тельца появляется на различных этапах изменения их блеска.

Более полутора лет назад, когда мы впервые пришли к выводу об общности причин, вызывающих непрерывную эмиссию в звездах Т Тельца и UV Кита, нам не были еще известны результаты Харо и его сотрудников, относящиеся к быстрым переменным в туманности Ориона и в других ассоциациях. Открытие мексиканскими учеными быстрых переменных в Т-ассоциациях перекинуло мост между звездами типа UV Кита и Т Тельца и показало, что как оба рассматриваемых класса переменных звезд, так и класс быстрых переменных являются разновидностями одного широкого семейства переменных карликов. При этом важнейшим свойством, объединяющим все это семейство, является появление время от времени непрерывной эмиссии. Вот почему физическое истолкование процессов, происходящих в атмосферах этих переменных, тесно связано с пониманием причин и сущности процесса непрерывной эмиссии.

Благодаря тому, что у различных звезд непрерывная эмиссия проявляется в разной форме, т. е. имеет различную продолжительность и различную интенсивность, оказывается возможным исключить целый ряд гипотез о природе непрерывной эмиссии и тем самым приблизиться к пониманию характера этого явления, основываясь на известных эмпирических данных.

Тот факт, что во время вспышек звезд типа UV Кита непрерывная эмиссия достигает большой интенсивности, заставляет считать, что само приращение яркости в этих случаях происходит главным образом за счет непрерывной эмиссии. Поэтому вопрос о причине увеличения блеска, по крайней мере иногда, совпадает с вопросом о причинах непрерывной эмиссии.

В случае, если увеличение блеска связано с тепловым излучением, то оно должно являться следствием либо повышения температуры, либо увеличения радиуса звезды.

Однако известны случаи, когда возрастание яркости происходило буквально за несколько секунд. Так, во время вспышки UV Кита 24 октября 1952 г. за семь секунд яркость звездной пары, куда входит UV Кита, возросла более чем на 1.6 звездной величины. Это значит, что светимость увеличилась более чем в четыре раза. Если увеличение светимости объяснить изменением площади, то это означало бы, что за семь секунд радиус звезды, по меньшей мере, удвоился. Для этого нужно было бы, чтобы поверхностные слои расширялись со скоростью 50 000 км/сек или больше, что совершенно исключается, поскольку одновременно наблюдаемые яркие линии не показывают сколько-нибудь значительного доплеровского смещения. Остается предположение, что непрерывная эмиссия связана со значительным повышением температуры внешних слоев. Нельзя отрицать возможность некоторого повышения температуры атмосферы звезды в результате появления непрерывной эмиссии. Но мы говорим здесь не об этом, а о возможности появления самой непрерывной эмиссии, как следствия повышения температуры внешних слоев.

Возможны при этом два случая: 1) Повышение температуры является следствием увеличения потока излучения, идущего из внутренних слоев. В этом случае должно иметь место повышение температуры не только в атмосфере, но и в более глубоких слоях. Но тогда уменьшение потока излучения будет возможно лишь после того, когда остынут эти более глубокие слои. По условиям переноса излучения во внешних слоях для этого потребуются, по крайней мере, часы. Между тем упомянутая выше вспышка звезды UV Кита 24 октября 1952 г. продолжалась, включая и нисходящую ветвь кривой блеска, всего две минуты. Поэтому мы должны отказаться от гипотезы о нагревании атмосферы в результате увеличения потока излучения, идущего из внутренних слоев. 2) Повышение температуры внешних слоев является следствием освобождения энергии в этих же слоях. При этом возможны два варианта: а) выделение тепла во внешних слоях происходит за счет энергии какого-либо механического движения, распространяющегося из внутренних слоев наружу, и б) оно происходит за счет каких-то других источников энергии. Если осуществляется вариант (а), то мы должны иметь нечто вроде взрывной волны, охватывающей всю звезду или некоторую область на ней. В этом случае явление всегда должно быть кратковременным, т. е. превращение энергии волны в тепло во внешних слоях, а следовательно, и выделение непрерывной эмиссии должно быть весьма непродолжительным. Однако особенность явления непрерывной эмиссии заключается как раз в том, что, будучи весьма кратковременным в случае вспышек звезд типа UV Кита, оно наблюдается годами у некоторых звезд типа Т Тельца, в частности у DD Тельца и BD + 67°922. Таким об-

разом, от варианта (а) следует отказаться, т. е. нужно предположить, что выделение непрерывной эмиссии происходит за счет других запасов энергии, освобождающихся в атмосфере звезды. Поскольку полная сумма тепловой и других видов энергии, находящихся в данный момент в тех наружных слоях атмосферы, где происходит выделение непрерывной эмиссии, очень мала, мы должны допустить, что источники энергии этого излучения выносятся из более глубоких слоев и только затем освобождаются во внешних слоях.

Этот вариант является, по-видимому, единственным, который прямо не противоречит наблюдениям. При этом совершенно естественно, что если в самых наружных слоях атмосферы происходит быстрое или длительное освобождение энергии каких-то, пока нам неизвестных источников, то в силу прозрачности этих слоев к непрерывному спектру выделяемая энергия может излучаться, не успев в большей своей части превратиться в тепло, т. е. не успев значительно повлиять на среднюю кинетическую энергию частиц соответствующих слоев атмосферы. Вот почему возникающее дополнительное излучение должно резко отличаться по своему характеру от теплового, т. е. должно быть *нетепловым излучением*.

Встает вопрос о том, каковы потенциальные источники энергии, которые переносятся из внутренних слоев во внешние и там дают начало непрерывной эмиссии. Принимая во внимание, что у некоторых звезд наблюдается в течение длительного времени непрерывная эмиссия того же порядка величины, что и все тепловое излучение звезды, естественно допустить, что эти потенциальные источники имеют ту же природу, что и внутренние источники звездной энергии, т. е. связаны с какими-то ядерными процессами. Трудно в настоящее время сказать что-нибудь вполне определенное об этих ядерных процессах. Вероятнее всего, что это процессы атомного распада, происходящие, однако, не с микроскопическими атомными ядрами обычного типа, а с ядерными образованиями макроскопических масштабов, т. е. с такими объектами, которые нам были до сих пор неизвестны.

В случае звезд типа Т Тельца картина изменений обычно более сложна, чем в случае звезд типа UV Кита. Наряду с меняющейся по своей интенсивности непрерывной эмиссией, мы наблюдаем здесь также изменения цветовой температуры, влекущие за собой изменения интенсивности получаемого нами температурного излучения. Кроме того, на указанные изменения двух родов накладываются также изменения интенсивностей эмиссионных линий.

Для объяснения этого сложного комплекса явлений следует допустить, как это было сделано в нашей работе, опубликованной в «Сообщениях Бюраканской обсерватории» № 13, что освобождение выносимых из

внутренних слоев источников энергии может происходить в различных слоях наружной оболочки звезды. Если энергия освобождается под фотосферическими слоями, то мы будем иметь дополнительный поток *теплового* излучения, проходящий через фотосферу, и менее резкие изменения яркости, а если она освобождается над фотосферными слоями, то мы должны иметь усиление непрерывной эмиссии и резкие изменения яркости. Интересно, что, по крайней мере, в некоторых случаях усиление непрерывной эмиссии у звезд типа Т Тельца происходит внезапно, хотя длительность максимума непрерывной эмиссии может быть велика. В промежуточном случае, когда освобождение энергии происходит в самых фотосферических слоях, мы должны иметь как возрастание температурного излучения, так и непрерывную эмиссию с накладывающимися на нее, однако, линиями поглощения. Очевидно, что в этом случае будет труднее отличить на практике непрерывную эмиссию от температурной. Наконец заметим, что, в зависимости от глубины явления, будет меняться также спектр ярких линий.

Я не буду останавливаться здесь подробно на связи явления непрерывной эмиссии со свечением кометообразных туманностей. Относящиеся к этому данные были сообщены в прошлом году на симпозиуме в Льеже. Мне хотелось бы лишь подчеркнуть то, что в некоторых случаях значительная часть свечения кометообразной туманности может быть объяснена отражением света переменной, в то время как в других случаях явление отражения света переменной не играет почти никакой роли, и свечение туманности следует приписать непрерывной эмиссии, происходящей в результате непосредственного освобождения энергии в самой туманности.

Мне кажется, что для более ясного понимания процессов, происходящих в звездах типа Т Тельца, крайне важно изучение тех случаев, когда те или иные стороны этих процессов выражены наиболее резко. Иными словами, имеет смысл обратиться к подробному изучению некоторых подтипов этого класса переменных звезд.

Я позволю себе остановиться на четырех разновидностях указанных объектов. При этом не преследуются цели классификации, а выделяются эти разновидности лишь для того, чтобы подчеркнуть необходимость детального изучения тех объектов, у которых отдельные стороны явления непрерывной эмиссии выражены особенно резко.

Первая разновидность. Это объекты типа Т Тельца, которые входят в Т-ассоциации и имеют длительную и особенно интенсивную непрерывную эмиссию. При этом, вследствие своеобразного распределения энергии непрерывной эмиссии по частотам, ультрафиолетовая часть спектра весьма интенсивна.

Наиболее характерными представителями этой разновидности яв-

ляются: звезда DD Тельца, изученная Струве и Свингсом, и звезда LH_α 61, обнаруженная Хербигом при исследовании ассоциации вокруг S Единорога.

Следует упомянуть, что у указанных звезд имеются еще две общие особенности. Первая из них — простирание бальмеровских эмиссионных линий до весьма высоких членов. Вторая особенность — связь с кометообразными туманностями, яркость которых намного выше той максимальной яркости, которая может быть в случае отражения света звезды.

Как указывает Харо, среди переменных звезд туманности Ориона также существует некоторое количество объектов голубого цвета. Нет сомнений, что при этом голубой цвет обусловлен распределением энергии в спектре непрерывной эмиссии. Обычно в этих случаях линия H_α, по его наблюдениям, имеет наиболее высокую оценку интенсивности. По-видимому, следует считать, что эти переменные по своим свойствам близки к DD Тельца и LH_α 61.

Сравнительная малочисленность звезд рассматриваемой разновидности и особенно интенсивное проявление у них явлений, характерных для звезд типа Т Тельца, свидетельствуют в пользу кратковременности переживаемого ими этапа развития. Вероятно, это наиболее ранняя стадия жизни звезд типа Т Тельца.

Вторая разновидность. Это объекты Хербига — Харо. Они представляют собой слабые звезды, окруженные газовыми туманностями очень малого диаметра. В спектрах этих туманностей содержатся запрещенные яркие линии, соответствующие невысокой степени ионизации. Абсолютная величина центральных звезд этих объектов — около +9^m, т. е. примерно совпадает с абсолютной величиной DD Тельца. Несмотря на свою низкую абсолютную величину, ядра этих объектов являются, по данным Харо, голубыми звездами. Естественно считать, что и в этом случае голубой цвет обусловлен не температурой, а непрерывной эмиссией. Интересно, что, несмотря на их необычайную редкость, три из этих объектов, находящихся в ассоциации Ориона, расположены в виде короткой цепочки длиной в 5' дуги. Это не может являться случайным совпадением и свидетельствует о крайней молодости этих объектов. Было бы весьма интересно найти подобные объекты в других ассоциациях.

Третья разновидность. Это быстрые переменные, открытые Харо и его сотрудниками в туманности Ориона и в Тельце. В отличие от звезд типа UV Кита, абсолютные величины этих быстрых переменных того же порядка, что и абсолютные величины других звезд типа Т Тельца. Поэтому эта разновидность занимает промежуточное положение между звездами типа UV Кита и обычными звездами типа Т Тельца, заполняя имеющуюся между ними брешь. Интересно, что у этих объектов эмиссия в спектральных линиях не интенсивна. Между тем у других объек-

тов непрерывная эмиссия сопровождается наличием ярких линий. Поэтому представляет чрезвычайный интерес выяснение вопроса о том, связано ли в этом случае повышение яркости с увеличением непрерывной эмиссии или обусловлено увеличением теплового излучения.

У объектов этой разновидности так же, как у звезд типа UV Кита, наиболее резко выражена быстрота процесса освобождения источников энергии. Не следует, однако, думать, что в других случаях, когда явление непрерывной эмиссии протекает длительно, сам процесс освобождения энергии из ее источников также обязательно длителен. Не исключена возможность, что между освобождением энергии из ее источников и превращением ее в световые кванты непрерывного спектра имеется еще одна стадия, длительность которой может быть различной в различных случаях.

Четвертая разновидность. Эта разновидность пока представлена единственным, но весьма интересным представителем—переменной звездой $BD + 67^{\circ}922$ в Драконе. Наряду с наличием интенсивности непрерывной эмиссии для этой звезды характерны следующие явления:

1. Весьма большая интенсивность эмиссионных линий водорода и особенно наличие весьма интенсивной линии ионизованного гелия $\lambda 4686$.

2. Принадлежность к сферической составляющей Галактики, о чем свидетельствуют как большая галактическая широта (41°), так и лучевая скорость (около -140 км/сек). Звезда имеет почти такую же галактическую долготу, как и апекс движения Солнца по отношению к быстролетящим звездам. Поэтому знак наблюдаемой лучевой скорости вполне объясняется. Интересно, что лучевая скорость $BD + 67^{\circ}922$ почти совпадает с лучевой скоростью находящейся рядом с ней быстролетящей долгопериодической переменной R Дракона, имеющей период 245 дней.

На этом примере выясняется, что в сферической составляющей нашей Галактики также имеются звезды типа Т Тельца, причем наиболее важным отличием данного объекта от обычных звезд типа Т Тельца, встречающихся в ассоциациях, является наличие линий высокого возбуждения He^{+} .

Как указывалось выше, физической причиной процессов, происходящих в звездах типа Т Тельца, следует считать освобождение значительных порций энергии во внешних слоях этих звезд и даже в наиболее наружных частях их атмосфер. Приходится допустить, что это освобождение энергии связано с ядерными процессами. Однако эти процессы по своему характеру резко отличаются от уже известных нам процессов освобождения ядерной энергии и особенно от термоядерных реакций.

Тот факт, что это освобождение происходит взрывоподобно, говорит о переносе из внутренних слоев во внешние слои масс вещества, которые находятся в ядернонеустойчивом состоянии. С другой стороны, поскольку эти явления наблюдаются у молодых звезд, естественно допустить, что выносимая масса состоит из дозвездного вещества высокой плотности, т. е. представляет собой материю в совершенно особом, нам до сих пор неизвестном состоянии.

Эта точка зрения вызывает, естественно, то возражение, что пытаются свести дело к доселе неизвестным нам физическим процессам, в то время как нельзя считать исчерпанными все возможности объяснения рассматриваемых явлений в рамках известных закономерностей физики.

Однако следует сказать, что ни при какой степени изученности какого-либо явления мы не можем быть гарантированы в том, что нами исчерпаны все возможности объяснения этого явления на основе известных законов физики. Несмотря на это, на каком-то этапе исследования приходится делать предположение о том, что исследуемое явление, которое не удалось объяснить на основе известных законов теоретической физики, является проявлением других неизвестных нам законов. Это предположение может оказаться неправильным или правильным, однако без введения подобных предположений для объяснения неожиданных результатов физических опытов и астрофизических наблюдений прогресс в области выявления принципиально новых, более глубоких свойств материи остановится. Весь вопрос в том, является ли положение дел с фактами, относящимися к звездам типа Т Тельца, таким, чтобы оправдать риск введения подобного предположения. Нам кажется, что если учесть не только факты, относящиеся к спектроскопии и фотометрии рассматриваемых звезд, но и те факты, которые связаны с ассоциированием их в группы молодых объектов, то получается весьма много аргументов, оправдывающих наше предположение.

Другие могут быть не согласны с этим и все еще пытаются найти решение задачи, исходя из ранее известных нам свойств материи. Нам же кажется, что этот путь уже следует оставить.

Более того, быстро растущие сведения о звездах типа Т Тельца позволяют перейти к выяснению закономерностей тех физических процессов нового типа, которыми обусловлены многие явления, происходящие в этих звездах.

О ПЛОТНЫХ ОБЛАКАХ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ*

Как показали исследования, опубликованные за последние годы, потери энергии, претерпеваемые релятивистскими электронами в межзвездном пространстве, в основном обусловлены тормозным излучением этих электронов в магнитных полях.

Предполагается, что в Крабовидной туманности значительная и даже основная часть тормозного излучения в магнитном поле испускается в оптических частотах. Считается, что другие потери энергии, например, ионизационные, или потери, происходящие от рассеяния на фотонах, малы по сравнению с упомянутым тормозным излучением в магнитном поле. Можно показать, что при обычных условиях, господствующих в межзвездном пространстве, это действительно так. То же самое справедливо и для Крабовидной туманности.

Однако, если мы имеем сравнительно плотное облако релятивистских электронов при достаточно больших его размерах, концентрация фотонов, испускаемых при тормозном излучении самими электронами облака, становится настолько большой, что эффект рассеяния электронов на этих фотонах (обратный Комптон-эффект) становится весьма значительным. В результате, потери от этого рассеяния, особенно если при заданном магнитном поле энергии электронов велики, могут во много раз превзойти потери от тормозного излучения.

Как известно, В. Бааде открыл в 1942 году, что в Крабовидной туманности время от времени появляются новые яркие сгущения и волокна. Эти образования передвигаются по туманности и со временем, ослабевая, исчезают. Представляется вероятным, что эти сгущения являются довольно плотными облаками релятивистских электронов. Другим примером, когда можно подозревать существование сравнительно плотных облаков релятивистских электронов, являются вспышки непрерывной эмиссии у звезд типа Т Тельца.

Естественно поэтому рассмотреть вопрос о том, с каким из двух возможных случаев мы имеем дело в этих явлениях: со случаем, когда пре-

* Нестационарные звезды, Изд. АН Армянской ССР, стр. 64, Ереван, 1957.

обладают потери, вызванные тормозным излучением в магнитном поле, или со случаем, когда, наоборот, преобладают потери из-за рассеяния на собственных фотонах облака. Решение этого вопроса существенно, так как продолжительность излучения в этих случаях оказывается совершенно различной.

Пусть облако состоит из N электронов и занимает объем l^3 . Пусть далее концентрация релятивистских электронов в единице объема будет n_e . Тогда

$$N = n_e l^3. \quad (1)$$

Потери энергии, вызванные тормозным излучением в магнитном поле H , когда энергия электрона равна E , выражаются формулой

$$\frac{dE}{dt} = -\frac{2c}{3} \left(\frac{e^2}{mc^2} \right)^2 H^2 \left(\frac{E}{mc^2} \right)^2. \quad (2)$$

Удобно в дальнейшем обозначить:

$$\frac{E}{mc^2} = \mu.$$

Тогда можно переписать (2) в виде:

$$\frac{d\mu}{dt} = -BH^2\mu^2, \quad (3)$$

где

$$B = \frac{2c}{3} \left(\frac{e^2}{mc^2} \right)^2 \frac{1}{mc^2}. \quad (4)$$

Из (4) имеем:

$$\frac{d\mu}{\mu^2} = -BH^2 dt$$

или

$$\frac{1}{\mu} - \frac{1}{\mu_0} = -BH^2(t - t_0),$$

где μ_0 есть энергия в начальный момент t_0 . При уменьшении энергии вдвое $\frac{1}{\mu} = \frac{2}{\mu_0}$ и для соответствующего промежутка времени t_1 будем иметь:

$$\frac{1}{\mu_0} = BH^2 t_1.$$

Таким образом, для промежутка времени, в течение которого теряется при тормозном излучении половина энергии электронов, имеем:

$$t_1 = \frac{1}{BH^2\nu_0}.$$

Однако при достаточной плотности облака, как мы сказали выше, будут преобладать потери от рассеяния электронов на собственных фотонах облака. Определим значение плотности, при котором будет иметь место такое преобладание.

Вообще, при рассеянии электронов на фотонах достаточно малых энергий, потери энергии электронов выражаются формулой

$$\frac{dE}{dt} = -\sigma_0 \rho_s c \left(\frac{E}{mc^2} \right)^2, \quad (6)$$

где σ_0 — эффективное сечение для томсоновского рассеяния:

$$\sigma_0 = \frac{8\pi}{3} \left(\frac{e^2}{mc^2} \right)^2 = 6.6 \cdot 10^{-25} \text{ см}^2,$$

а ρ_s представляет собой плотность излучения. Поскольку мы имеем в виду рассеяние на собственных фотонах облака, мы должны сосчитать именно ту плотность излучения, которая обусловлена испусканием оптических частот релятивистскими электронами облака.

Мы можем написать:

$$\rho_s = \frac{4\pi}{c} I, \quad (7)$$

где I — интенсивность излучения. В нашем случае для I мы будем в среднем иметь:

$$I = \eta \frac{l}{2}, \quad (8)$$

где η — объемный коэффициент излучения. Поскольку тормозное излучение одного электрона определяется правой частью формулы (2), то для полного излучения единицы объема в единицу времени во все стороны мы имеем:

$$4\pi\eta = Bmc^2H^2\nu^2n_e. \quad (9)$$

Тогда, на основании (7) и (8), получим:

$$\rho_s = \frac{B}{2} mcH^2\nu^2ln_e. \quad (10)$$

Внося (10) в (6), найдем:

$$\frac{d\nu}{dt} = -\sigma_0 \frac{B}{2} H^2\nu^4ln_e. \quad (11)$$

Сравнивая (3) и (11), мы видим, что энергетические потери на рассеяние превосходят потери вследствие тормозного излучения в том случае, когда

$$\frac{\sigma_0}{2} \mu^2 \ln_e > 1. \quad (12)$$

Если выполняется это условие, то справедливо уравнение (11), и, интегрируя его, мы можем найти время потери электронами половины своей энергии. Это интегрирование дает:

$$\frac{1}{\mu^3} - \frac{1}{\mu_0^3} = \frac{3}{2} \sigma_0 B H^2 \ln_e (t - t_0). \quad (13)$$

Отсюда, для промежутка времени t_2 , в течение которого электроны потеряют половину своей энергии, мы найдем

$$\frac{1}{\mu_0^3} = \frac{3}{14} \sigma_0 B H^2 \ln_e t_2, \quad (14)$$

т. е.

$$t_2 = \frac{14}{3} \frac{1}{\sigma_0 B H^2 \ln_e \mu_0^3}. \quad (15)$$

Очевидно, что при выполнении (12) мы должны иметь

$$t_2 < t_1.$$

Заметим, наконец, что как в случае тормозного излучения в магнитном поле, так и в случае рассеяния на собственных квантах облака, мы будем иметь одно и то же выражение для светимости облака

$$L = N \frac{d\mu}{dt} mc^2 = N B H^2 \mu^2 mc^2. \quad (16)$$

Полученные формулы можно попытаться применить к облакам релятивистских электронов, для которых известны те или иные наблюдаемые свойства. Именно, мы можем считать заданными светимость L , время высвечивания t и частоту тормозного излучения ν . Если бы были заданы также размеры облака (или же полное число излучающих электронов), то мы имели бы все данные для нахождения характеристик облака: μ , n_e и H .

Как указывал Дж. Гринстейн, в случаях, подобных рассматриваемому, магнитные поля могут быть слишком слабы, чтобы их энергия могла бы быть достаточной для удержания частиц всего облака. Поэто-

му облака рассматриваемого типа должны расходиться. Однако во время этого распада облака мы будем иметь определенный период наиболее интенсивного излучения и в этот период облако должно характеризоваться некоторыми линейными размерами. Исходя из нестационарности облака и принимая для продолжительности максимума вспышек звезд типа UV Кита $t=1$ минуте, мы получаем для линейных размеров $l > 10^{12}$ см.

Оказывается, что такому облаку и другим параметрам вспышек соответствуют две возможные модели: 1. Облако электронов высокой энергии ($\mu > 0^8$), находящихся в очень слабом магнитном поле. В этом случае основную роль играют потери от Комптон-эффекта на собственных фотонах. 2. Облако, состоящее из электронов с «умеренной» энергией ($\mu \approx 10^4$) в сравнительно сильном магнитном поле.

Однако оказывается, что в первом случае суммарная энергия электронов облака, которая, главным образом, расходуется на комптоновские потери, должна быть очень велика по сравнению с энергией вспышки. Следовательно, в тех случаях, когда по какой-либо причине выделение этой энергии происходит под фотосферическими слоями звезды, мы имели бы значительное повышение температуры звезды в течение некоторого промежутка времени. Исходя из этого, следует оставить для обсуждения скорее всего второй вариант, когда наибольшую роль играет тормозное излучение.

Что касается движущихся сгущений в Крабовидной туманности, то следует сказать, что в этом случае применение приведенных формул приводит к заключению, что мы наверняка имеем дело со случаем, когда потери обусловлены тормозным излучением.

В заключение, я хотел бы сказать несколько слов о другом возможном истолковании указанных сгущений в Крабовидной туманности. Сопоставление направления движения сгущений с направлением силовых линий магнитного поля, которое получается из поляризационных наблюдений, показывает, что движение совершается поперек силовых линий. С другой стороны, рассматриваемые сгущения бывают расширены вдоль силовых линий. Совершенно непонятно, как электроны, даже высоких энергий, могут совершать столь большие передвижения поперек силовых линий. Возможное объяснение, как нам кажется, заключается в том, что движение сгущения поперек силовых линий является результатом перемещения некоторого источника релятивистских электронов, выброшенного из звезды. Если этот источник обладает сравнительно небольшим отношением суммарного заряда к массе, то такое передвижение становится возможным. Выбрасываемые из источника релятивистские электроны должны вытягиваться вдоль магнитных линий, что и наблюдается.

Во всяком случае, возможность того, что в данном случае носители внутризвездной энергии достигают больших расстояний от звезды, заслуживает обсуждения.

Примечание. В 1956 году в Бюраканской обсерватории состоялось совещание по нестационарным звездам с участием советских и иностранных ученых. Основное место на совещании заняло обсуждение проблемы нетеплового излучения звезд. Все выступления участников совещания опубликованы в сборнике «Нестационарные звезды» (Изд-во АН АрмССР, 1957). Кроме приведенного выше выступления В. А. Амбарцумяна в сборнике опубликованы и другие его выступления.

ВНЕГАЛАКТИЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ

НЕКОТОРЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ О КРАТНЫХ ГАЛАКТИКАХ*

1. Процент кратных галактик среди всех галактик, составляющих данное скопление, во много раз превосходит тот процент, который должен быть при термодинамическом равновесии. Этот факт без всяких дополнительных предположений приводит к выводу о том, что в каждой кратной галактике ее составляющие имеют совместное происхождение. В этом отношении кратные галактики весьма похожи на кратные звезды, наблюдаемые нами в нашей звездной системе.

2. Исследование конфигураций кратных галактик, входящих в каталог Холмберга, показывает, что из 132 кратных галактик 87 (65%) образуют конфигурации типа Трапеции Ориона, 27 систем (20%) составляют системы обыкновенного типа. Остальные 15% составляют системы, которые можно считать промежуточными, поскольку в них отношение наибольшего расстояния к наименьшему лежит между 2.5 и 3.0.

В этом отношении совокупность кратных галактик резко отличается от совокупности кратных звезд, где подавляющее большинство систем представляет собой кратные системы обыкновенного типа.

3. Кратные галактики типа Трапеции в тех случаях, когда массы составляющих одинакового порядка между собой, должны быть неустойчивыми. Само существование подобных конфигураций делает вероятным, что знак энергии части кратных галактик положительный, т. е., что некоторые кратные галактики представляют собой недавно возникшие и ныне расходящиеся группы. Однако это предположение должно быть подтверждено на основании каких-либо независимых данных.

4. Рассмотрение разностей Δv_r лучевых скоростей у пар галактик, наблюдаемых Пейджем и другими, показывает, что произведение $\rho (\Delta v_r)^2$, где ρ — проекция расстояния между компонентами пары на небесную сферу, систематически выше для тех пар, которые входят в кратные системы по сравнению с обычными двойными галактиками. Между тем, при отрицательности энергий всех систем, среднее значение

* Сообщение на симпозиуме МАС в Дублине. Изд. АН Армянской ССР, Ереван, 1955.

этого произведения должно быть пропорционально средней массе системы. Поэтому предположение об отрицательности энергий всех кратных галактик влечет за собой вывод о том, что массы составляющих кратных галактик систематически больше (и притом не менее чем в два-три раза) масс составляющих двойных галактик.

5. Этому выводу можно избежать, допустив, что часть кратных галактик имеет положительную энергию. Таким образом, получается косвенное подтверждение предположения о том, что часть кратных представляет собой расходящиеся группы.

6. Среднее значение отношения $f = \frac{M}{L}$ для кратных галактик, полученное в предположении, что их энергия отрицательна, заметно превосходит максимальное значение того же отношения, полученное по вращению индивидуальных галактик, и во много раз превосходит среднее значение того же отношения для последних. Это также заставляет считать, что у части кратных галактик энергия положительна.

7. Отношение f достигает особенно больших значений для скоплений галактик. Применив теорему вириала, мы получим для скопления в Деве $f = 2000$, а для скопления в Сомы, учитывая новое значение его радиуса, данное Цвикки, $f = 5000$ (а не $f = 800$, как это было получено Шварцшильдом путем внесения только таких поправок, которые могут уменьшить значение f). Соглашаясь с существованием межгалактического вещества, мы должны считать крайне искусственным допущение о том, что его масса может в десятки раз превосходить массу всех галактик и что при этом оно должно очень мало излучать. Наоборот, судя по всему, природа межгалактических образований близка к природе неправильных галактик типа Магеллановых Облаков; поэтому не исключена возможность, что именно для межгалактической материи отношение f очень мало. Гораздо естественнее сделать допущение, что *некоторые скопления галактик являются системами с положительной энергией*, т. е. представляют собой распадающиеся системы. В этом случае к ним, как к нестационарным системам, нельзя применять теорему вириала.

8. Важным свидетельством в пользу нестационарности скопления в Деве является, как отметил Маркарян, наличие в нем цепочки ярких галактик, включающей в себя, в частности, эллиптические галактики М84 и М86. Эта цепочка настолько резко выделяется на фоне всего скопления, что в ее физической значимости не может быть сомнения. Удивительным образом мы встречаем здесь аналогию между скоплениями галактик и ассоциациями, где наблюдаются цепочки горячих сверхгигантов (например пояс Ориона).

9. Если часть кратных галактик имеет положительную энергию, то естественно допустить, что положительной энергией может обладать также некоторая часть двойных галактик. Такие двойные галактики должны представлять собою попросту две удаляющиеся друг от друга звездные системы. В таком случае возникает вопрос о возможности обнаружения таких пар на самом первоначальном этапе развития, когда компоненты только что начали удаляться друг от друга. Очевидно, что при этом могут быть случаи, когда ядро одной из галактик, составляющих пару, находится глубоко внутри другой галактики, непосредственно вблизи ее ядра. Условимся называть подобные пары сверхтесными галактиками.

10. Такими сверхтесными галактиками являются, по-видимому, радиогалактики. Можно показать на основании расчетов вероятностей, что галактика NGC 5128 (Центавр А) ни в коем случае не может представлять собой результат случайного столкновения двух ранее независимых галактик. В случае Лебедь А гипотеза столкновения также исключается на основании простых статистических соображений. Наконец, в случае NGC 4486 (Дева А) согласно Бааде факт разделения ядра на основную массу и выброшенную материю непосредственно наблюдается. Поэтому можно считать правдоподобным предположение, что радиогалактики представляют собой результат только что происшедшего разделения первоначальных ядер.

О КРАТНЫХ ГАЛАКТИКАХ*

§ 1. Одним из существенных свойств Метагалактики является наличие в ней большого числа двойных и кратных галактик и, особенно, скоплений галактик. В этом отношении существует известное сходство между строением Метагалактики и строением нашей Галактики. В последней мы также встречаем двойные звезды, кратные системы и звездные скопления. Как было показано нами, количество двойных звезд, кратных систем и открытых скоплений в нашей Галактике в огромное число раз превышает ту численность этих групп, которая должна была бы быть при диссоциативном равновесии [1]. Ниже будет показано, что в Метагалактике наблюдается отклонение от диссоциативного равновесия в ту же сторону.

Вместе с тем следует отметить, что имеется и существенное различие. По имеющимся данным процент двойных галактик среди всех галактик в окружающей нас части пространства так же, как и процент кратных галактик, не выше соответствующих процентов для звезд. Однако процент галактик, входящих в их скопления, намного выше, чем процент звезд, входящих в различные звездные скопления. После работ Цвикки [2], а также Неймана, Скотта и Шена [3], имеются веские основания считать, что большинство галактик входит в скопления галактик и что процент галактик, составляющих общее метагалактическое поле, сравнительно мал. В отличие от этого, большинство звезд в галактике составляет общее галактическое звездное поле и не принадлежит к звездным скоплениям по крайней мере тех типов, существование которых твердо установлено. Однако это различие не может преуменьшить значения того факта, что в обеих системах мы имеем весьма заметную тенденцию к скучиванию. Несомненно, что этот факт имеет в отношении обеих систем глубокое космогоническое значение.

Подобно тому, как это было сделано в отношении двойных звезд, можно составить формулу диссоциативного равновесия для двойных га-

* Изв. АН АрмССР, серия ФМЕТ наук, **9**, 23, 1956.

лактин. Применение этой формулы к местной системе галактик приводит к тому, что отношение числа двойных галактик, у которых расстояние между компонентами находится в пределах от 5 000 до 50 000 *парсек*, к числу одиночных галактик должно быть не больше одной двухсотой. Принимая во внимание, что фактически в местной системе имеется около одного десятка одиночных галактик, мы приходим к заключению, что математическое ожидание числа двойных галактик должно быть порядка 0,05. А математическое ожидание числа тройных галактик должно быть, в свою очередь, во много раз меньше этой величины. Между тем мы имеем в местной системе по меньшей мере одну двойную галактику (NGC 147—185) и две тройные галактики, считая и нашу Галактику вместе с ее спутниками — Магеллановыми Облаками. Таким образом, уже наличие в местной системе одной двойной галактики являлось бы при диссоциативном равновесии маловероятным явлением. А одновременное существование в ней двух тройных систем было бы практически невозможным. Таким образом, в этом случае так же, как и в случае звездных пар и троек, мы наблюдаем сильное отклонение от диссоциативного равновесия. При этом, однако, следует отметить, что отклонение от диссоциативного равновесия особенно велико в случае тройных галактик. Аналогичное положение мы имеем и в других скоплениях галактик.

Однако самое большое нарушение статистического равновесия мы имеем для отношения числа скоплений галактик к числу одиночных галактик. Хотя в настоящее время трудно оценить процент всех галактик, входящих в состав скоплений, однако, как уже упоминалось, новые данные говорят в пользу того, что большинство галактик, по крайней мере имеющих большую абсолютную яркость, входит в состав скоплений. Применение формулы диссоциативного равновесия к вычислению отношения числа скоплений к числу одиночных галактик в окружающей нас области Метагалактики приводит к выводу, что, при всех допустимых предположениях о средней квадратичной скорости галактик, в Метагалактике должны были бы совершенно отсутствовать скопления. Таким образом, в этом случае расхождение с формулой диссоциативного равновесия особенно велико.

Если, с другой стороны, принять, что двойные галактики, кратные галактики и скопления галактик возникли в результате процессов взаимного захвата, возможного при тройных сближениях, то отношение числа пар к числу одиночных галактик так же, как отношение числа скоплений к числу одиночных галактик, не должно никогда превзойти ту величину, которая получается из формулы диссоциативного равновесия. Между тем мы наблюдаем противоположную картину.

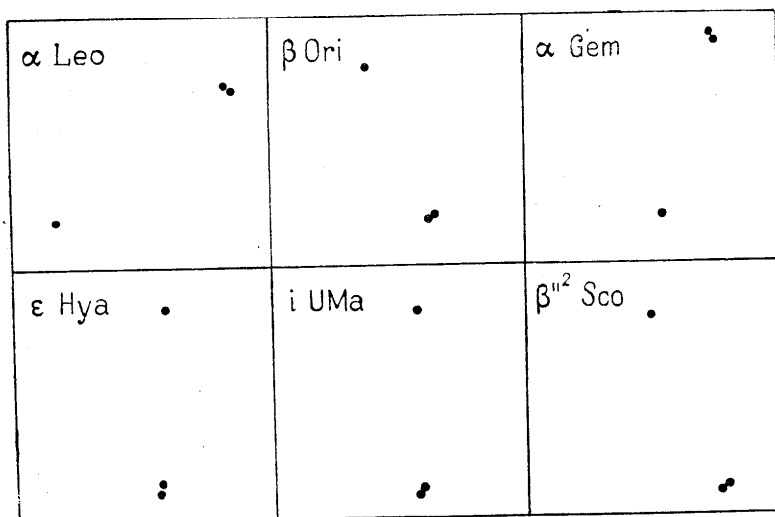
Поэтому и в этом случае можно повторить вывод, который нами был

сделан в отношении звезд. Именно, мы должны заключить, что компоненты, входящие в состав данной двойной или кратной галактики, или же в состав данного скопления галактик, образовались совместно. Это утверждение не является следствием какой-нибудь гипотезы о механизме возникновения галактик или групп галактик. Оно непосредственно следует из наблюдаемой сильной тенденции к сгущиванию.

§ 2. Так же, как и в случае звезд, изучение конфигураций кратных галактик может дать интересные сведения, касающиеся происхождения и развития этих объектов. Как показывают результаты предварительного изучения конфигураций кратных галактик, среди них встречается значительное число конфигураций типа Трапеции, т. е. таких конфигураций, в которых можно указать такие три галактики, все три взаимные расстояния которых одного порядка величины. Более того, если мы берем кратные системы, содержащиеся в опубликованных списках двойных и кратных галактик, то оказывается, что процент систем типа Трапеции среди них значительно превосходит процент систем обыкновенного типа. Иными словами, среди кратных галактик, заключенных в указанные списки, мы наблюдаем картину, диаметрально противоположную той, которая наблюдается среди кратных звезд. Как известно, среди кратных звезд, входящих в наши каталоги, число систем типа Трапеции во много раз меньше числа систем обыкновенного типа.

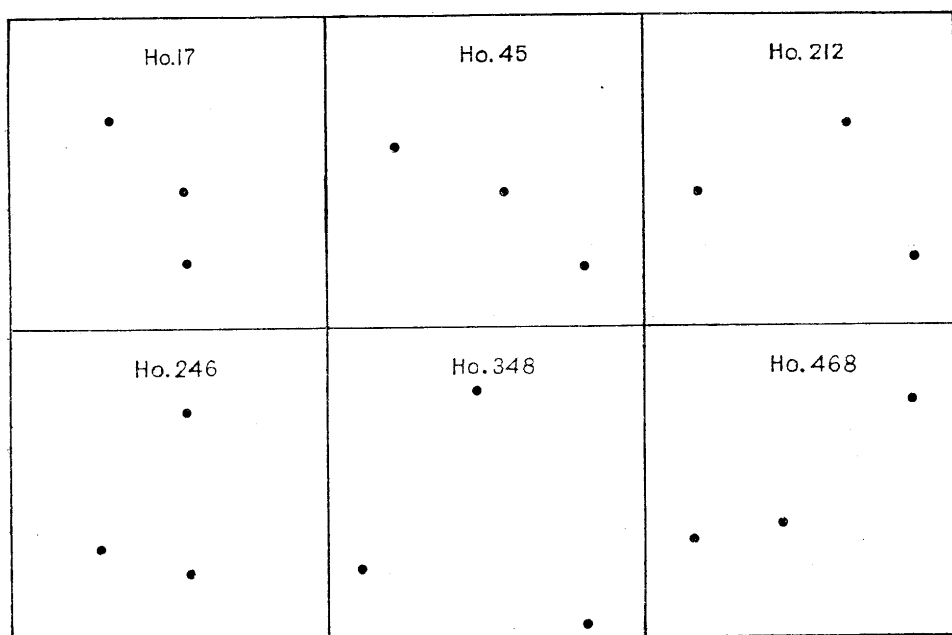
Так, например, среди 132 кратных галактик, встречающихся в каталоге двойных и кратных галактик Холмберга [4], 87 имеют такие конфигурации, что безусловно должны быть отнесены к типу Трапеции. Только 27 систем являются системами обыкновенного типа, в то время как остальные восемнадцать систем занимают промежуточное положение, поскольку в каждой из них можно найти такие три галактики, что отношение наибольшего из расстояний между ними к наименьшему лежит между 2,5—3,0.

Насколько распространены кратные системы типа Трапеции, видно из того, что ближайшая к нам система — туманность Андромеды с ближайшими двумя своими спутниками — является системой типа Трапеции. Что касается нашей Галактики, то она вместе с двумя Магеллановыми Облаками составляет систему промежуточного типа. В противоположность этому, среди большого числа кратных звезд, находящихся близко от нас, скажем, ближе, чем 50 парсек, мы не наблюдаем ни одной системы типа Трапеции. Указанную противоположность между характером конфигураций кратных звезд и кратных галактик особенно хорошо можно проиллюстрировать на следующем примере. На фиг. 1 показаны наблюдаемые конфигурации шести визуальных кратных звезд, главные компоненты которых обладают наибольшей видимой яркостью среди главных компонентов всех визуальных кратных звезд. Масштаб для



Фиг. 1. Конфигурации наиболее ярких кратных звезд из каталога Эйткена.

разных кратных звезд взят различный, что не имеет значения для определения характера конфигураций. Из рисунка видно, что все шесть групп являются системами, у которых резко выражена принадлежность к обыкновенному типу. На фиг. 2 изображены конфигурации шести крат-

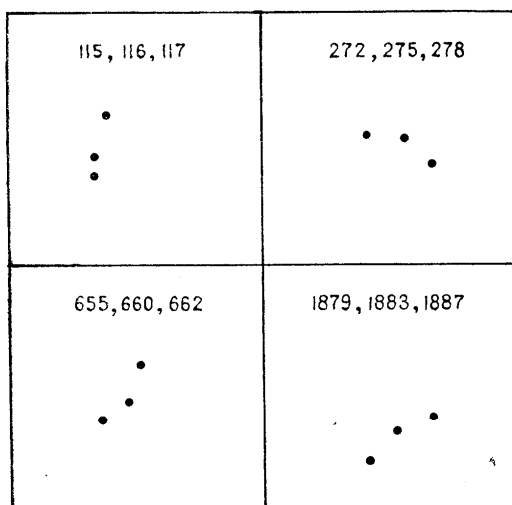


Фиг. 2. Конфигурации шести наиболее ярких кратных галактик каталога Холмберга.

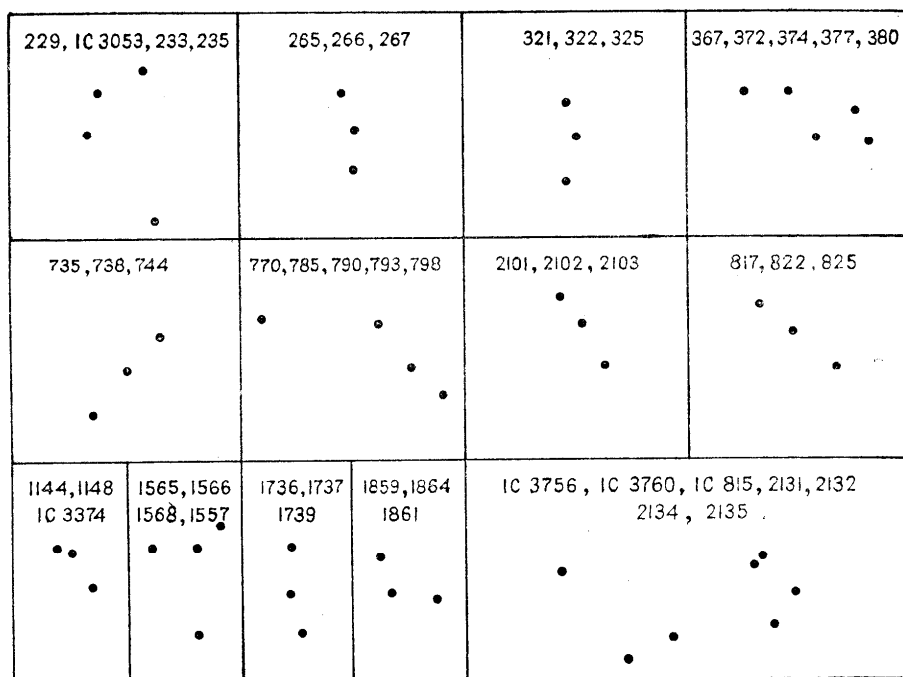
ных галактик, у которых главные компоненты обладают наибольшей видимой яркостью среди главных компонентов кратных систем каталога Холмберга. Бросается в глаза, что все они являются системами типа Трапеции. Для окончательного решения вопроса о том, насколько указанное свойство кратных галактик распространено, мы попытались выделить кратные галактики из каталога 2778 туманностей, составленного Эймс [5]. Приняв наибольший предел для расстояний между компонентами равным $2',5$, мы нашли среди галактик этого каталога 76 кратных систем (с кратностью 3 и больше). Из них большинство оказалось системами типа Трапеции. Однако возникло подозрение, что наличие оптических систем может повлиять на процент наблюдаемых трапеций. Поэтому было произведено изучение совокупности двойных галактик и на основании этого было определено возможное число оптических кратных при различных значениях предельного расстояния между компонентами, т. е. случаев, когда случайная одиночная галактика проектируется рядом с двойной. В результате было выяснено, что если предельное расстояние между компонентами принять равным $1',3$, то процент оптических кратных будет крайне незначительным. Таких тесных систем оказалось 17. При этом выяснилось, что из этих 17 систем только одна имеет конфигурацию обыкновенного типа и одну можно отнести к системам промежуточного типа. Таким образом, 15 систем из 17 являются трапециями. Более того, оказалось, что когда мы таким образом ограничили список очень тесными системами, то процент систем обыкновенного типа уменьшился. Таким образом, факт значительного преобладания трапеций и редкости обыкновенных систем среди физических кратных систем не вызывает сомнения.

На фиг. 3 и 4 приведены конфигурации указанных 17 кратных систем, причем системы, изображенные на фиг. 3, относятся к числу наиболее тесных, так что расстояние от каждого компонента до ближайшего к нему не больше $0',8$.

Приведем еще одно сравнение, подтверждающее указанный вывод. Возьмем тесную систему наибольшей кратности среди наблюдаемых ярких кратных галактик. Эта система, в которой главным компонентом является NGC 6027, была открыта Сейфертом [6] в Serpens. Она состоит из шести галактик. На фиг. 5 дана схематическая конфигурация этой системы в сопоставлении с конфигурацией, наблюдаемой у наиболее яркой шестикратной звезды — Кастора. При этом каждую из трех визуальных компонентов Кастора, являющихся спектрально-двойными, соблюдая масштаб, мы изобразили в виде одной лишь точки, так как два компонента спектрально двойной, при взятом масштабе, должны сливаться. Очевидно, что и это сравнение является прямым подтверждением наличия тенденции образовывать системы типа Трапеции среди кратных га-

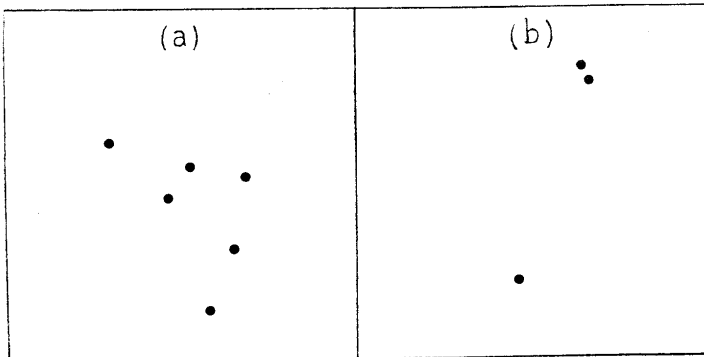


Фиг. 3. Четыре наиболее тесные системы из каталога Эймс. Расстояние между компонентами не превосходит $0',8$. Цифры означают номера составляющих галактик по каталогу Эймс.



Фиг. 4. 13 систем из каталога Эймс, для которых расстояния между компонентами находятся в пределах $0',9-1',3$. Цифры означают номера составляющих галактик по каталогу Эймс.

трапеций среди кратных систем может оказать значительное влияние
 трапеции среди кратных систем может оказать значительное влияние



Фиг. 5. а) Конфигурация шестикратной галактики в Serpens. б) Шестикратная звезда Кастор. Каждая из точек представляет два компонента, составляющих спектрально-двойную. Кастор состоит из трех спектрально-двойных.

избирательность наблюдательных данных. Поэтому нельзя без дальнейшего обсуждения принять, что число трапеций в действительности во много раз или, по крайней мере, в несколько раз превосходит число систем обыкновенного типа.

В том, что избирательность должна известным образом повлиять на приведенные выше данные, можно убедиться на следующем примере. Рассмотрим критерий, на основании которого две галактики считались входящими в одну кратную систему. Как видно из предисловия к каталогу Холмберга, он требовал, чтобы выполнялось условие:

$$\frac{\text{взаимное расстояние}}{\text{сумма диаметров}} > 2.$$

Принимая грубо, что диаметры равны, мы получаем требование, чтобы взаимное расстояние было бы меньше четырех диаметров галактики. Пусть теперь имеем тройную систему ABC обыкновенного типа, где А и В составляют тесную пару, а С представляет собой отдаленного спутника. Если даже А и В соприкасаются друг с другом, их взаимное расстояние будет равно одному диаметру галактики. В таком случае отдаленный спутник, на основании приведенного критерия Холмберга, не может находиться больше чем на расстоянии четырех диаметров от одного из составляющих тесной пары. В результате максимальное значение отношения K наибольшего расстояния к наименьшему в тройной системе не может оказаться больше пяти. Таким образом, критерий Холмберга заведомо исключает все системы, для которых $K > 5$. А для случая, когда расстояние внутри тесной пары превосходит 2,0 диаметра, все вообще системы обыкновенного типа исключаются.

Таким образом, в каталог Холмберга могли попасть только те системы обыкновенного типа, у которых взаимное расстояние в тесной паре заключено между 1,0 и 2,0 диаметра галактики, а некоторая часть даже таких систем (с относительно большими значениями K) должна была остаться вне каталога.

Для того чтобы исправить результаты наблюдения за эффект избирательности наблюдений, нужно знать закон распределения тройных галактик в зависимости от расстояния внутри тесной пары и расстояния отдаленного спутника. К сожалению, этот закон нам неизвестен. Однако, если допустить, что этот закон похож на тот, который имеет место в случае тройных звезд, то, как показывает грубая, глазомерная оценка, относительное число систем обыкновенного типа следует увеличить в несколько раз, но не более чем в пять.

Поэтому, исправив числовые данные за наблюдательную селекцию, мы должны получить, что процент систем обыкновенного типа несколько меньше или, в лучшем случае, таков же, как процент трапеций. Таким образом, остается несомненным, что *системы типа Трапеции составляют не меньше половины всех кратных галактик.*

§ 3. Как показано было нами в отношении *кратных звезд* типа Трапеции, каждая такая система является либо системой с положительной энергией, либо системой с отрицательной энергией, но настолько молодой, что в ней звезды успели совершить не больше чем несколько оборотов. То же самое должно быть справедливо в отношении *кратных галактик* типа Трапеции. Далее, можно предполагать, что известная часть кратных галактик типа Трапеции имеет положительную энергию, т. е. представляет собой группы, которые распадаются непосредственно после своего возникновения, так, что компоненты удаляются друг от друга в разные стороны.

Естественно спросить, можно ли найти какие-либо факты, свидетельствующие о положительности энергии кратных галактик типа Трапеции? Оказывается, что в пользу этого говорят некоторые данные, касающиеся относительных лучевых скоростей двойных и кратных галактик, которые совершенно независимы от фактов, касающихся конфигурации в кратных галактиках.

Имеющиеся данные об относительных движениях в кратных галактиках были сильно расширены благодаря появлению в 1952 г. работы Пейджа [7]. Всего в настоящее время мы имеем определения разностей лучевых скоростей для 35 пар.

Не имея количественных данных о массах галактик, входящих в эти пары или в кратные системы, куда некоторые из этих пар входят, мы не можем определить точное численное значение кинетической и потенциальной энергии этих систем и, следовательно, знак энергии в каждом случае.

Именно поэтому попытка решения вопроса о том, встречаются ли среди наблюдаемых групп такие, которые имеют положительную энергию, наталкивается на затруднения. Однако вышеупомянутые данные о разностях лучевых скоростей позволяют подойти к этому вопросу статистически.

Прежде всего представляет интерес тот факт, что для упомянутых 35 пар мы не наблюдаем систематического уменьшения разности лучевых скоростей при увеличении взаимного расстояния компонентов в проекции на небесную сферу. Между тем такое уменьшение должно было бы наблюдаться в среднем, если движение во всех парах эллиптическое (т. е. энергия отрицательна), а массы систем не зависят от расстояний между компонентами. Некоторые пары, в которых расстояния между компонентами очень велики, показывают, вместе с тем, большую разность лучевых скоростей.

Если обозначим через v относительную скорость внутри двойной системы, а через r — расстояние между компонентами, то теорема вириала, примененная к двойной галактике, будет иметь вид:

$$\overline{v^2} = GM \frac{\overline{1}}{r} = GM \frac{\overline{\cos \theta}}{\rho},$$

где M — суммарная масса системы, ρ — расстояние в проекции, θ — угол между радиусом вектором r и касательной плоскостью к небесной сфере, а усреднение произведено по времени.

Усредняя как по времени, так и по разным парам, мы можем написать:

$$\overline{v^2} = 3\overline{v_z^2},$$

где v_z — составляющая относительной скорости по лучу зрения.

Поэтому мы будем иметь:

$$G \frac{\overline{M \cos \theta}}{\rho} = 3\overline{v_z^2}.$$

При указанном двойном усреднении величины M , $\cos \theta$ и ρ могут считаться практически независимыми друг от друга, и поэтому, приняв во внимание, что $\overline{\cos \theta} = \frac{\pi}{4}$ и обозначив через ρ' среднее гармоническое значение ρ , получим:

$$G\overline{M} = \frac{12}{\pi} \rho' \overline{v_z^2}. \quad (1)$$

Равенство (1) справедливо только после усреднения по времени в каждой паре и последующего усреднения по галактикам, различно ориенти-

рованными. Поэтому вычисленные для каждой пары по полученным в момент наблюдения значениям ρ и v_z значения величины

$$M' = \frac{12}{\pi G} \rho' v_z^2 \quad (2)$$

могут отличаться от действительной массы.

Однако только в очень редких случаях это произведение может отличаться от массы системы в десять раз, если только справедливо наше основное предположение об отрицательности энергии каждой пары.

В частности, следует принять во внимание следующее обстоятельство. Если энергия пары отрицательна, то кинетическая энергия меньше абсолютного значения потенциальной энергии, т. е. имеет место неравенство

$$\frac{v^2}{2} < \frac{GM}{\rho} \cos \theta,$$

на основании чего мы можем написать:

$$v_z^2 < v^2 < \frac{2GM}{\rho} \cos \theta < \frac{2GM}{\rho}$$

или

$$M > \frac{\rho v_z^2}{2G}. \quad (3)$$

Это неравенство уже справедливо для каждой пары в отдельности и для каждого момента наблюдения. Первая часть этого неравенства отличается от выражения (2) множителем $\frac{\pi}{24}$. Таким образом, мы убеждаемся, что истинная масса каждой галактики ни в коем случае не может быть меньше выражения (2) более чем $\frac{24}{\pi} = 7.6$ раза. Что касается верхней границы поправочного множителя, необходимого для получения из (2) истинного значения массы, то такой безусловной верхней границы не существует. Однако, как указывалось, следует считать, что случаи, когда этот поправочный множитель больше 10, должны быть крайне редки.

Это означает, что, если все пары имели бы одинаковую массу, то значения M' (за исключением отдельных, редко встречающихся) должны были бы отличаться друг от друга не более чем в 80 раз. Между тем наблюдаемые значения M' отличаются друг от друга иногда почти в 10^4 раз.

Выводом из этого является допущение, что имеются большие различия в массах галактик. Анализируя результаты своих наблюдений,

Пейдж пришел к заключению, что среди галактик встречаются «гиганты» с массами порядка $150 \cdot 10^9 M_{\odot}$ и „карлики“ с массами порядка $5 \cdot 10^9 M_{\odot}$.

Вполне возможно, что столь большие различия в массах наблюдаемых пар действительно существуют. Однако заслуживает особого внимания то обстоятельство, что из четырех пар, для которых M' достигает наибольшего значения, три пары входят в состав кратных галактик с тремя или более компонентами. Это заставило нас заняться статистикой значений M' или, что то же, произведений ρv_z^2 (это произведение, как видно из (2), отличается от M' лишь постоянным множителем) в отдельности для двойных звезд и для тех пар, которые входят в состав кратных галактик. Упомянутые выше 35 пар включают в себя 24 двойные галактики и 11 пар, входящих в кратные галактики. Расположив в каждой из этих групп рассматриваемые пары в порядке возрастающих значений ρv_z^2 , мы разбили затем каждую из групп на три *равные* по численности подгруппы таким образом, что в первую подгруппу вошли пары с наименьшими значениями ρv_z^2 , во вторую подгруппу — пары с промежуточными значениями ρv_z^2 , наконец, в третью подгруппу — пары с наибольшими значениями той же величины. После этого мы вывели среднее значение $\overline{\rho v_z^2}$ для каждой подгруппы. В нижеследующей табличке приводятся эти значения в единицах $10^{13} \frac{\text{астр. ед. км}^2}{\text{сек}^2}$,

Таблица средних значений

Подгруппы	I	II	III
Двойные галактики	0,01	0,42	4,8
Кратные галактики	0,06	1,6	21.

Мы видим, что среднее значение ρv_z^2 в каждой подгруппе кратных галактик на круг в пять раз больше значения той же величины для соответствующей подгруппы двойных галактик.

Если наши предположения верны, то это означало бы, что масса кратных галактик примерно в пять раз больше масс двойных галактик. Конечно, в среднем массы кратных галактик должны быть несколько больше масс двойных галактик, благодаря чему и произведения ρv_z^2 должны быть несколько больше. Но, учитывая, что большинство кратных галактик представляет собой тройные системы, а также и то, что лучевые скорости определялись для двух наиболее ярких и, следовательно, как правило, более массивных компонентов, мы должны предполагать разницу в среднем не больше, чем в полтора раза. Если даже учтем некоторые возможные эффекты селекции, все же это отношение вряд ли

может быть больше двух. Таким образом, остается расхождение примерно в три раза, которое трудно объяснить.

По-видимому, эта разница между средними значениями не обусловлена также возможными различиями в массах, происходящими от различия физических типов галактик. Поэтому мы должны заключить, что неверно наше основное предположение, сделанное в начале приведенных расчетов и связанное с допущением об отрицательности знака полной энергии каждой системы. Достаточно допустить, что среди кратных галактик имеется больший процент систем с положительной энергией, расходящихся с относительно большими скоростями, чем среди двойных галактик, и все расхождение будет объяснено.

Спрашивается, однако, не является ли допущение о гораздо большем проценте систем с положительной энергией среди кратных галактик по сравнению с двойными галактиками столь же неправдоподобным, как и отвергнутое нами допущение о том, что галактики, входящие в кратные системы, имеют, в среднем, гораздо большую массу, чем составляющие двойных галактик. Ответ на этот вопрос получается из результатов предыдущего параграфа. Там мы показали, что большинство кратных систем, охваченных нашими каталогами, является системами типа Тrapeции и, следовательно, можно ожидать наличия среди них большого числа систем с положительной энергией. Совершенно иное положение мы имеем в случае двойных систем, подавляющее большинство которых находится, по-видимому, в состоянии с отрицательной энергией.

Таким образом, данные, касающиеся относительных лучевых скоростей о двойных и кратных галактиках, свидетельствуют о положительности энергии многих из этих кратных систем. Однако вследствие недостаточного количества данных о разностях лучевых скоростей у пар галактик, желательно дальнейшее исследование этого вопроса на основе более широкого материала.

§ 4. Следует отметить, что утверждение о неустойчивости звездных кратных систем типа Тrapeции с отрицательной энергией является справедливым постольку, поскольку звезды имеют обычно один и тот же порядок масс. Аналогично этому, в случае кратных галактик с отрицательной энергией утверждение о неустойчивости будет справедливо в том случае, если массы компонентов одинакового порядка. Если масса одного из компонентов во много раз превосходит массы остальных составляющих, то утверждение о неустойчивости будет вообще несправедливо. Так, например, Солнце, Земля и Марс представляют систему, в которой все три расстояния между составляющими обычно имеют один и тот же порядок величины. Однако эта «система» устойчива. По этой причине было бы неосторожно делать вывод о неустойчивости в отношении таких кратных галактик типа Тrapeции, как, например, туманность

Андромеды, спутники которой, по всей вероятности, имеют массы во много раз меньше, чем масса центральной туманности. Однако существует большое количество кратных галактик типа Трапеции, где светимости составляющих одного порядка, вследствие чего можно предполагать, что и массы одного порядка величины.

Так, например, система Холмберг 124, изображенная на фиг. 2, состоит из галактик, видимые звездные величины которых равны 13,2, 13,6, 14,9. И в других случаях, изображенных на этом рисунке, разности величин гораздо меньше, чем у кратной системы в Андромеде. Поэтому большинство кратных галактик, о которых шла речь в § 2, неустойчивы и являются сравнительно молодыми объектами.

§ 5. Сделанный в начале настоящей статьи вывод о совместном возникновении компонентов кратных галактик предполагает, что на какой-то предыдущей фазе развития вещество, составляющее кратную галактику, входило в единый объект, который затем разделился на две или несколько галактик. Естественно предполагать, что между этой первоначальной и более поздней фазой полного разделения составляющих кратной галактики может иметь место некоторый промежуточный период, в течение которого эти составляющие, являясь самостоятельными объектами, все же связаны между собой какими-то соединяющими элементами — «мостами», продолжением ветвей и перемычками. Как показал Цвикки, между компонентами кратной галактики часто наблюдаются подобные мосты и соединительные ветви. В статье Кудера [8], посвященной работам Цвикки, приводится фотография замечательной тройной галактики, открытой Вилдом и состоящей из трех спиралей. Между двумя компонентами явно виден мост, представляющий собой продолжение соответствующих спиральных ветвей двух из составляющих галактик. Вместе с тем *система Вилда может являться образцовым примером тройной системы типа Трапеции*. Иными словами, эта система несомненно является молодым объектом.

Таким образом, вместо представления о приливном взаимодействии двух случайно проходящих мимо друг друга галактик, возникает простое понимание этих перемычек, как результат сравнительно недавно происшедших процессов разделения совместно возникших галактик.

С другой стороны, если принять, что перемычки между галактиками, составляющими кратную систему, генетически связаны со спиральными ветвями, то можно заключить, что процесс формирования ветвей имеет тесную связь с процессом возникновения и разделения составляющих кратной системы. В пользу этого свидетельствуют также данные Вокулера о спиральных ветвях, которые связывают нашу галактику с ее спутниками — Магеллановыми Облаками.

Рассматривая с этой точки зрения знаменитую спиральную систему

в Гончих Псах — M51 (NGC 5194—5195), мы можем считать известное сгущение на ее периферии, расположенное в конце одной из спиральных ветвей, за спутника этой системы, который связан с основной системой мощной спиральной ветвью. Таким образом, мы приходим к представлению о двойных галактиках, в которых составляющие между собой соприкасаются.

Развивая дальше это представление, мы приходим к вопросу о возможности существования *сверхтесных пар*, т. е. взаимно проникающих систем, в которых центр одной галактики глубоко расположен внутри другой.

§ 6. Как известно, одним из способов определения средних масс галактик является применение теоремы вириала к скоплениям галактик. Предполагая, что скопление имеет отрицательную энергию и находится в стационарном состоянии, мы получаем из теоремы вириала:

$$v^2 = \frac{GM}{2R}.$$

Известные данные о лучевых скоростях позволяют легко определить средний квадрат скорости по отношению к центру тяжести скопления \bar{v}^2 , а радиус скопления R легко определяется, если известно его расстояние. На основании этих данных, приведенная формула позволяет найти массу скопления. Таким образом, для скопления в Деве Туберг [9] получил $M = 500 M_r$, где M_r — масса Галактики. Однако следует учесть, что в результате пересмотра шкалы расстояний принятый Тубергом радиус скопления в Деве следует, по крайней мере, удвоить. Поэтому будет правильной оценкой $M = 1000 M_r$. С другой стороны, число галактик скопления в Деве до абсолютной величины — 11 не превосходит двух тысяч. Считая, что массами всех более слабых галактик можно пренебречь, мы получаем для средней массы членов скопления в Деве $2 M_r$. Но известно, что подавляющее большинство из этих двух тысяч галактик составляют карлики с абсолютными величинами между — 15 и — 11. Массы этих карликов, казалось, не должны превосходить $0,01 M_r$. Только несколько десятков гигантов, входящих в скопление, могут иметь массы, заключенные между $0,2 M_r$ и $2 M_r$. Таким образом, полученная на основании теоремы вириала большая суммарная масса противоречит данным о числе и светимостях галактик данного скопления. Для объяснения этого расхождения Смит выдвинул предположение о большой массе межгалактической материи, содержащейся в скоплении. Следует отметить, что еще Хаббл [10] в своей книге подчеркивал глубину и серьезность получающегося расхождения. Гораздо большее противоречие получается для скопления в Сота. Уже из вычислений Туберга следо-

вало, что для этого скопления масса равна $8000 M_{\odot}$. Однако на основании новых данных, относящихся к этому скоплению, а также в результате пересмотра шкалы расстояний, линейный радиус скопления следует учетверить. Поэтому получаем $M = 32\,000 M_{\odot}$. При этом известно из последних исследований Цвикки [11], что рассматриваемое скопление содержит не более 10 000 галактик ярче абсолютной величины — 13, причем подавляющее большинство из них составляют галактики низкой светимости с абсолютной величиной ниже — 15. Если также отнести значительную часть массы за счет слабых объектов, не вошедших в подсчеты Цвикки, все же получится, что в среднем каждая из упомянутых 10 000 галактик имеет массу порядка $2 M_{\odot}$. Между тем и в этом случае можно считать, что на самом деле лишь несколько сотен или десятков галактик имеют массы между $0,2 M_{\odot}$ и $2 M_{\odot}$, а массы остальных должны измеряться лишь сотыми долями M_{\odot} . Поэтому полная масса скопления должна была бы быть порядка $1\,000 M_{\odot}$. Получается расхождение на 1,5 порядка. Цвикки пытается объяснить это расхождение наличием огромного количества межгалактического вещества внутри скопления. Отметим, что на чрезвычайно большие значения отношений $f = \frac{M}{L}$, полу-

чающиеся в случае скопления галактик при применении теоремы вириала, обратил внимание и Шварцшильд [12]. Однако нам кажется, что даже приведенное им для скопления в Сота значение $f = 800$ является преуменьшенным, поскольку при выводе им были приняты допущения, приводящие к уменьшению значения f .

Имеются данные, свидетельствующие о наличии известного количества межгалактического вещества в скоплении Сота. Вопрос, однако, заключается в том, может ли масса этого вещества в десятки раз превосходить суммарную массу галактик. Поскольку межгалактические образования по своему внешнему виду напоминают скорее внешние части спиральных рукавов, чем концентрированные ядра галактик, то следует думать, что пока нет никаких оснований приписывать этому веществу чрезвычайно большие значения отношения f . Между тем только значения порядка 10^5 и больше для межгалактической материи могут объяснить наблюдаемое расхождение.

Между тем, исходя из предыдущего, можно дать простое и естественное объяснение указанного противоречия, допустив, что скопление в Сота (а может быть и скопление в Деве) является системой, обладающей положительной энергией, т. е. представляет собой расходящуюся группу галактик. В таком случае теорема вириала неприменима, и кинетическая энергия системы может во много раз превосходить абсолютную величину потенциальной энергии.

В связи с этим выводом можно упомянуть еще об одном обстоятельстве, свидетельствующем о нестационарности некоторых скоплений галактик. Как на это обратил мое внимание Маркарян, в центральной части скопления в Деве находится бросающаяся в глаза цепочка ярких галактик. В состав этой цепочки входят, в частности, гигантские эллиптические системы М84 и М86. Трудно допустить, что эта цепочка является результатом случайного проектирования.

Если принять, что среди скоплений галактик встречаются системы с положительной энергией, то получится, что скопление типа Сомы возникло в результате расширения существовавшей ранее очень тесной группы галактик.

Для расширения до теперешних размеров потребовалось около полутора миллиарда лет.

§ 7. При обсуждении в § 2 вопроса об избирательности имеющихся списков кратных галактик, мы принимали, что взаимное расстояние центров двух галактик, наблюдаемое нами, не может быть меньше суммы их радиусов. Однако при тщательном изучении изображений вероятно нетрудно распознать двойственность и в тех случаях, когда взаимное расстояние несколько меньше суммы радиусов. Если же оно меньше полусуммы радиусов, распознавание двойственности может оказаться затруднительным, ибо получающаяся картина может быть приписана сложности структуры самой галактики.

Однако диаметр галактики является довольно неопределенной величиной. Ее значение всегда зависит от предельной регистрируемой поверхностной яркости. При фотографических наблюдениях она зависит от чувствительности пластинки и экспозиции. Во многих случаях, когда две галактики двойной системы кажутся отделенными друг от друга, при увеличении экспозиции может получиться взаимное перекрывание изображений.

Поэтому следует думать, что двойных и кратных галактик, в которых компоненты взаимно проникают друг в друга, гораздо больше, чем это может показаться с первого взгляда. Так, например, оба спутника М 32 и NGC 205 туманности Андромеды по крайней мере в проекции перекрываются с последней.

Однако представляет наибольший интерес возможность таких случаев, когда взаимное проникновение является очень глубоким, например, когда ядро одной галактики находится внутри центральной части другой галактики.

Нетрудно видеть, что мы наблюдаем некоторые такие сверхтесные системы в виде радиогалактик. Наиболее яркими примерами этого являются источники радиоизлучения Лебедь А и Центавр А.

Как известно, последний объект отождествлен с пекулярной галак-

тикой NGC 5128, которая, согласно Бааде [13], представляет собой любопытное сочетание эллиптической и спиральной систем с почти совпадающими в проекции центрами.

Предлагавшееся со стороны Бааде и Минковского объяснение, считающее радиоизлучение пекулярных галактик и, в частности, NGC 5128 результатом случайного столкновения двух ранее независимых галактик, вызвало возражения со стороны Шкловского [14] и Милса [15]. Оно имеет, кроме того, и ту слабую сторону, что не объясняет, почему для возникновения радиоизлучения требуется центральное или почти центральное столкновение. Более того, как мы сейчас увидим, вероятность такого центрального столкновения ничтожно мала.

Как легко заключить из значений видимой звездной величины и угловых размеров галактики NGC 5128, ее расстояние должно лежать в таких пределах, что она либо входит в состав местной системы галактик, либо же принадлежит общему метагалактическому полю, будучи расположена недалеко от местной системы. Плотность общего метагалактического поля настолько мала, что вероятность центрального столкновения в этом поле на столь близком расстоянии от нас совершенно ничтожна. Поэтому примем то предположение, при котором вероятность центрального столкновения значительно больше, т. е. допустим на минуту, что NGC 5128 *входит* в состав местной системы галактик.

На фотографии, полученной Бааде [13] с помощью 48-дюймового телескопа Шмидта, видно, что видимое расстояние между центрами «столкнувшихся» галактик не превосходит пять секунд дуги. Для осторожности удвоим эту цифру, т. е. будем утверждать лишь, что расстояние между центрами в проекции не превосходит $d = 10''$. Вероятность такого случайного расположения галактик, входящих в нашу местную систему, при котором какая-нибудь одна пара настолько сблизилась, что в проекции находится ближе друг к другу, чем некоторое угловое расстояние d , будет порядка

$$P_1 = \frac{n(n-1)}{2} \frac{d^2}{4},$$

где n — число членов локальной системы, которое можно принять равным 16, а d выражено в радианах. Подставляя сюда $d = 10''$, получаем

$$P_1 < 10^{-7}.$$

Но это есть вероятность близости в проекции. Если же предположить, что обе галактики совпадают и по лучу зрения, что необходимо для объяснения наблюдаемого радиоизлучения, и если даже допустить, что

расстояние между галактиками по лучу зрения вдвое превосходит линейное расстояние в проекции, то указанную вероятность нужно помножить еще на 10^{-4} .

Таким образом, для вероятности столь точного совпадения получается

$$P < 10^{-11},$$

т. е., в среднем, из 10^{-11} групп галактик, подобных нашей локальной системе, только в одной в случайно выбранный момент мы должны наблюдать подобное тесное сближение.

Между тем имеются данные, свидетельствующие о том, что «радиогалактики», представляющие собой как бы наложение двух систем, наблюдаются и в других скоплениях галактик. Это показано Бааде [13] на примере скопления галактики в Персее.

Все это делает гипотезу о столкновениях совершенно невероятной. Отказавшись от нее, мы приходим к представлению о сверхтесных парах совместно возникших галактик, которые по каким-то причинам могут являться источниками интенсивного радиоизлучения. Но, если согласиться с подобным представлением, то и случай Лебедь А, где мы имеем наиболее мощное радиоизлучение и наложение изображений двух галактик, следует рассматривать как частный случай сверхтесной системы, составляющие которой имеют общее происхождение.

В пользу необходимости дать источнику Лебедь А истолкование в том же духе, что и истолкование источников, связанных с галактиками NGC 5128, 1275 и 4486, говорит тот факт, что галактика в Лебеде так же, как и указанные три радиогалактики, принадлежит к числу галактик сверхгигантов как по своей абсолютной величине, так и по диаметру (абсолютная величина, достигающая примерно $M = -20$, диаметр порядка 20 000 парсек).

Как известно из исследований Цвикки, относящихся к функции светимости галактик, число галактик быстро растет по мере уменьшения светимости. Поэтому столкновение двух галактик низкой абсолютной яркости в десятки тысяч раз более вероятно, чем столкновение двух галактик сверхгигантов. Было бы в таком случае весьма удивительно, если бы наряду с Лебедь А не наблюдались бы по крайней мере несколько десятков источников радиоизлучения, возникших от столкновения галактик низких светимостей, на гораздо меньших от нас расстояниях, чем расстояние Лебедь А. Правда, возникающее при этом радиоизлучение могло бы быть более слабым, но это компенсировалось бы меньшим расстоянием такой пары. Поэтому можно было бы ожидать от них поток излучения того же порядка, что и от Лебедь А. Между тем таких случаев мы вовсе не наблюдаем.

С другой стороны, в рамках гипотезы об общности причин, вызывающих интенсивное радиоизлучение отдаленных галактик, наличие у них общих характеристик, в частности принадлежность их всех к числу галактик гигантов, кажется естественным.

§ 8. Остановимся на минуту на возможных кинематических и динамических особенностях сверхтесных двойных галактик. При этом отвлечемся сначала от наличия в такой системе диффузного вещества, считая, что она состоит только из звезд. Имеются две возможности. Первая заключается в том, что сверхтесная система представляет собой двойную галактику с положительной полной энергией. В таком случае на начальном этапе скорости ядер двух галактик по отношению друг к другу должны быть настолько велики, чтобы возможность полного отрыва и взаимного удаления в бесконечность была бы обеспечена. Относительные скорости звезд внутри каждой галактики будут в этом случае малы по сравнению со скоростью расхождения галактик. Поэтому возмущающее воздействие каждой галактики на движение звезд в другой галактике не будет особенно велико и в результате приведет лишь к некоторым возмущениям формы каждой галактики.

Существенным в этом случае является то, что момент начала расхождения двух систем должен был быть, вместе с тем, моментом возникновения их, как отдельных динамических единиц, а формирование самих галактик, по-видимому, должно происходить в период их взаимного удаления. Однако при таком представлении трудно объяснить как возникновение звезд на всем протяжении каждой галактики могло бы опередить взаимное удаление. Между тем наблюдаемые сверхтесные системы, по-видимому, представляют иногда собой уже сформировавшиеся галактики.

Поэтому представляется более естественным тот вариант, когда первоначально существовала одна единая галактика, ядро которой разделилось на две части и одно из ядер или даже оба ядра (при одинаковом порядке массы) взаимно удаляются через уже существующую звездную систему. Если одно из ядер значительно меньше другого, то большее ядро может сохранить в существующей звездной системе почти центральное положение, выброшенная же меньшая масса будет удаляться. По-видимому, как раз такую картину мы наблюдаем в случае радиогалактики NGC 4486, где действительно имел место выброс струи из центрального ядра.

Вторая возможность заключается в том, что первоначально имело место разделение какого-то первоначального тела на два ядра, которые стали удаляться друг от друга, причем полная энергия получившейся системы была с самого начала отрицательна, т. е. скорость расхождения была невелика. Получившиеся два ядра должны были бы продолжать

двигаться около общего центра тяжести. При дальнейшем развитии каждое из ядер могло дать начало целой галактике, размеры которой гораздо больше среднего расстояния между ядрами. При этих условиях мы получим две взаимно проникающие системы, подобные NGC 5128 и Лебедь А. Однако в такой сверхтесной паре воздействие каждого ядра на движение звезд другой галактики будет велико, и по сути дела мы получим единую оболочку, состоящую из звезд с двумя ядрами. Через некоторое время должна нарушиться также и динамическая независимость ядер, особенно, если, как это следует из законов механики, они должны периодически пронизывать друг друга. Динамика этого явления требует специального анализа, однако следует думать, что после небольшого количества полных колебаний около центра тяжести произойдет слияние обоих ядер.

Как в описанном выше случае образования пары с положительной энергией, так и в только что описанном случае возникновения пары с отрицательной энергией мы будем наблюдать пару, как сверхтесную систему, только в начальный период ее развития. В дальнейшем сверхтесная система, как мы видели, либо должна распасться ($\varepsilon > 0$), либо же превратиться в единую систему ($\varepsilon < 0$).

Таким образом, в каждой наблюдаемой сверхтесной системе обе галактики, либо, по крайней мере, одна из них должны быть молодыми образованиями. Если на самом раннем этапе развития новой галактики происходит возникновение в ней также и слоя диффузного вещества, то не исключена возможность на этом этапе бурных процессов столкновений межзвездных газовых облаков, которые предполагались уже в отвергаемой нами гипотезе случайного столкновения двух галактик. Возможно, хотя и не доказано, что именно эти процессы являются в той или иной степени причиной мощного радиоизлучения.

Мы видели, что, согласно развитому выше взгляду, может существовать два типа сверхтесных галактик. Один из них представлен системой NGC 4486, другой — NGC 5128. Однако в каждом отдельном случае не так легко решить, к какому виду относится данная сверхтесная система. Так, например, это трудно сделать и в отношении объекта Лебедь А. Только особая мощность процесса радиоизлучения в ней говорит как будто о том, что, вероятно, мы имеем здесь дело со сверхтесной системой положительной энергии.

§ 9. Кроме случаев, рассмотренных выше, можно представить себе также случаи, когда образовавшиеся ядра возникающей кратной галактики расходятся на весьма значительные расстояния и только после этого развиваются в настоящие звездные системы. В этом случае мы не будем наблюдать никаких сверхтесных пар или групп, а будем иметь дело

с образованием обычной широкой пары или кратной системы с отрицательной или положительной энергией.

Таким образом, сверхтесные пары, наблюдаемые в виде радиогалактик, должны считаться весьма молодыми образованиями. Однако не всякая двойная галактика должна проходить через стадию сверхтесной пары.

§ 10. *Выводы.* Среди кратных галактик имеется значительное число систем типа Трапеции. Это является свидетельством в пользу представления о совместном возникновении галактик, составляющих кратные системы. Имеются основания считать, что многие из кратных галактик представляют собой системы с положительной энергией и поэтому находятся в процессе распада.

Основным выводом из сказанного является то, что *возникновение кратных галактик в Метагалактике происходит и в нашу эпоху.* Но, поскольку многие кратные галактики распадаются на независимые отдельные галактики, то сделанное утверждение относится и к одиночным галактикам.

Имеются доводы в пользу того, что некоторые *скопления* галактик представляют собой недавно возникшие и ныне распадающиеся системы.

Поскольку отношение времени распада кратной галактики типа Трапеции к продолжительности жизни каждой галактики, как звездной системы, будучи малым, все же, вероятно, во много раз больше, чем отношение продолжительности распада кратной звезды типа Трапеции к длительности жизни звезды, как члена галактики, то утверждение о молодости галактик, входящих в кратные системы, не следует понимать слишком узко, и возможно, что эти «молодые» системы уже успели прожить заметную часть своей жизни. Быть может этим объясняется, что процент предполагаемых молодых галактик среди всех галактик, который можно вывести на основании развитых выше представлений, гораздо больше, чем процент молодых звезд среди звезд вообще.

В отношении радиогалактик имеются основания считать их сверхтесными молодыми парами с положительной или отрицательной энергией.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амбарцумян, Астр. журн., **14**, 207, 1937. См. также: Эволюция звезд астрофизика. Изд. АН АрмССР, Ереван, 1947.
2. Цвикки, PASP, **50**, 218, 1938; **64**, 247, 1952.
3. Нейман, Скотт, Шен, Ap. J., **117**, 92, 1953.
4. Холмберг, Annals of the Observatory of Lund, № 6, 1937.
5. Эймс, Н. А. **88**, № 1, 1930.
6. Сейферт, PASP, **63**, 72, 1951.
7. Пейдж, Ap. J., **116**, 63, 1952.
8. Кудер, l'Astronomie, **68**, 405, 1954.
9. Туберг, Ap. J., **98**, 501, 1943.
10. Хаббл, The Realm of the Nebulae, Нью Хевен, 1937, стр. 180.
11. Цвикки, PASP, **63**, 61, 1951; **64**, 247, 1952.
12. Шварцшильд, А. J., **59**, 273, 1954.
13. Бааде, Ap. J., **119**, 215, 1954.
14. Шкловский, Астр. журн., **31**, 483, 1954.
15. Милс, Observatory, **74**, 249, 1954.

КРАТНЫЕ ГАЛАКТИКИ И РАДИОГАЛАКТИКИ*

Сообщение 1. О светимостях радиогалактик

(Представлено 10. XI 1956)

1. Радиогалактики остаются до сих пор сравнительно мало изученными объектами. Это отчасти объясняется их отдаленностью. В частности, знаменитая радиогалактика в Лебедь, выделяющаяся исключительной мощностью радиоизлучения среди других радиогалактик и представляющая собой, в этом смысле, уникальный объект, находится от нас на расстоянии порядка трехсот миллионов световых лет. Трудность изучения радиогалактик объясняет, почему до сих пор остается нерешенным вопрос о причине, вызывающей процессы, приводящие к интенсивному радиоизлучению этих галактик. Были высказаны две точки зрения: согласно первой из них, радиогалактики представляют собой столкнувшиеся пары галактик, в то время, как согласно второй точке зрения, они являются результатом процессов внутреннего развития и соответствуют критическим периодам в жизни галактик, в частности, периоду деления галактики на две части, или выбросу из центрального ядра тех или иных образований.

Само собой разумеется, нельзя а priori утверждать, что радиогалактики представляют собой совершенно однородную группу объектов. Поэтому возможна и такая точка зрения, что каждое из этих объяснений справедливо для некоторой части радиогалактик.

Следует сказать, что в начальный период изучения радиогалактик безраздельно господствовала первая из указанных точек зрения. Однако приведенные нами статистические оценки вероятности столкновения с полной определенностью показали, что, по крайней мере в некоторых случаях (например, в случае NGC 5128 в Центавре), гипотеза о столкновениях совершенно несостоятельная. С другой стороны, геометрическое расположение сгущений в сферической галактике NGC 4486 (Дева) яв-

* ДАН АрмССР, 23, 161, 1956.

ляется прямым указанием на выброс этих сгущений из центрального ядра этой галактики. Это дало автору настоящих строк основание выдвинуть предположение о том, что наблюдаемые в радиогалактиках признаки двойственности и усложненной структуры свидетельствуют вообще не о столкновениях, а о делениях (галактик или их ядер) или выбросах из ядра.

Окончательное решение вопроса затрудняется тем, что многие аргументы, приводимые для доказательства столкновения, могут быть легко обращены в аргументы в пользу гипотезы о делении, и наоборот. Таковой неоднозначный характер несут, в частности, многие аргументы, которые опираются на те или иные особенности геометрической структуры или на различия лучевых скоростей различных частей данной галактики. В этой связи желательно изучение критериев, которые не зависят от указанных характеристик и дают большую возможность однозначного суждения.

Мы рассмотрим ниже вопрос об абсолютных величинах радиогалактик. Уже в предыдущей работе [1] нами было обращено внимание на то, что они являются объектами весьма высокой светимости. Ниже, в таблице, приводятся данные об абсолютной фотографической величине для пяти галактик, которые наиболее надежным образом отождествлены с

Источник	Красное смещение	m_0	M_{pg}
Лебедь А	$+ 17.098 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$	14.79	-20.1
Персей А	$+ 5.293$	11.74	-20.5
Центавр А	$+ 0.261$	6.1	-19.7
Дева А	$+ 1.218$	9.62	-19.5
Печь А	$+ 1.728$	9.67	-20.2

$$\text{Среднее } M_{pg} = -20.0 \pm 0.4$$

наблюдаемыми дискретными источниками радиоизлучения. Принятые при определении абсолютной величины модули расстояний были вычислены на основании красных смещений, исправленных за движение Солнца в Галактике, причем, для коэффициента перехода от расстояния к красному смещению было принято новое значение постоянной закона красного смещения $H = 180 \frac{\text{км}}{\text{сек. мегапарсек}}$. Кроме того, были введены поправки: 1) за изменение блеска в фотографических лучах вследствие красного смещения, 2) за поглощение света в нашей Галактике и 3) за размеры апертуры при фотоэлектрических наблюдениях, если использовались данные, основанные на них. Исправленная таким образом фотоэлектрическая величина m_0 дана в третьем столбце таблицы.

При этом, для Лебедь А последняя поправка была взята из работы

Бааде [2], хотя нам кажется, что она должна быть гораздо большей. В связи с этим приведенная в таблице фотографическая светимость объекта Лебедь А является несколько уменьшенной.

Обращает на себя внимание очень высокое значение средней абсолютной величины и сравнительно малая дисперсия отдельных значений вокруг этого среднего. Практически все абсолютные величины отличаются от среднего не больше чем на полвеличины. Каковы бы ни были ошибки, внесенные нами при вычислении абсолютных величин, перечисленных в таблице галактик, такое совпадение нельзя считать случайным и приходится сделать вывод, что наиболее надежно отождествленные *радиогалактики являются галактиками — сверхгигантами*. Точно так же можно привести данные, свидетельствующие в пользу того, что и в отношении своих линейных размеров все пять указанных галактик также являются сверхгигантами.

2. Было бы однако неосторожно сделать отсюда вывод, что все радиогалактики являются сверхгигантами, так как нами еще не учтено возможное влияние избирательности при отождествлении. Поскольку отождествление радиоисточника с галактикой слабой видимой величины требует знания точных координат этого источника, то такое отождествление может быть произведено уверенно лишь при наличии точных радиоизмерений координат источника. Наоборот, отождествление интенсивного радиоисточника с яркой (для земного наблюдателя) галактикой производится легко.

При этом не исключена возможность ошибок, т. е. неправильного отождествления с проектирующейся поблизости галактикой с достаточной видимой яркостью. Такие ошибки отождествления должны привести к тому, что среди отождествленных радиогалактик будут относительно часто встречаться те, которые имеют большую видимую яркость, например, те, которые входят в каталог NGC. Но среди ярких по видимой величине галактик процент сверхгигантов должен быть гораздо выше, чем процент сверхгигантов среди всех галактик, заключенных в некотором заданном объеме пространства. Поэтому полученный в предыдущем параграфе результат следует скорее сопоставить не с процентом сверхгигантов среди галактик, заключенных в единице объема, а с процентом галактик сверхгигантов среди всех галактик ярче некоторой видимой величины. Нетрудно убедиться, что этот последний процент не изменится, если из всех галактик, которые ярче некоторой видимой величины, будет отобрана некоторая часть, причем отбор будет произведен по каким-либо признакам, независимым от абсолютной величины, либо же совершенно случайно. Этому условию в довольно хорошем приближении удовлетворяет совокупность тех галактик каталога NGC, для которых определены как лучевые скорости, так и фотоэлектрические величины, если при

этом исключить галактики, входящие в те из ближайших скоплений (например Дева или Волосы Вероники), для которых производились сравнительно многочисленные определения лучевых скоростей их членов. Последняя предосторожность нам кажется необходимой, так как, стремясь определить лучевые скорости возможно большего числа членов скопления, мы поневоле включаем в список галактик с известными лучевыми скоростями все большее число галактик низкой светимости.

На основании списков, приведенных в работе Хьюмаса, Мейола и Сандеджа [3], было таким образом отобрано 479 галактик, для которых на основании лучевых скоростей и видимых фотографических величин были определены абсолютные фотографические величины с учетом тех же поправок, которые были введены выше при определении M_{pg} для радиогалактик. При этом, разумеется, было принято то же значение постоянной в законе красного смещения. Полученное в результате распределение абсолютных величин оказалось таким, что: 1) процент галактик с абсолютными величинами не ниже $-19^m.5$ равен десяти и 2) средняя абсолютная величина галактик всего списка равна $-17^m.6$, т. е. на $2^m.4$ ниже средней абсолютной величины радиогалактик.

Понятно, что средняя абсолютная величина всех галактик, заключенных в данном объеме пространства, должна быть гораздо ниже (во всяком случае ниже -15^m), поскольку именно в результате наблюдательной селекции в наш список 479 галактик вошли преимущественно гигантские галактики. Но и при наличии этой селекции средняя абсолютная величина галактик нашего списка оказалась на $2^m.4$ ниже средней абсолютной величины для радиогалактик. Таким образом, совершенно очевидно, что установленные выше весьма высокие светимости радиогалактик не являются следствием одностороннего влияния ошибок отождествления.

Есть еще одно обстоятельство, свидетельствующее о том, что избирательность при отождествлении не может играть в исследуемом вопросе решающей роли. Дело в том, что все радиообъекты с интенсивностью, превосходящей $10^{-23} \text{ ватт м}^{-2} \left(\frac{\text{цикл}}{\text{сек}} \right)^{-1}$ в области 100 мегагерц, можно считать совершенно надежно отождествленными. В число этих объектов входят три радиогалактики нашего списка: Лебедь А, Дева А и Центавр А, являющиеся сверхгигантами в фотографических лучах. Между тем для объектов столь большой радиоинтенсивности не может быть и речи о влиянии какой-либо избирательности, вытекающей из трудности отождествления. Поэтому нет сомнений, что высокая абсолютная фотографическая величина радиогалактик нашего списка является следствием соответствующего вида фотографической функции свети-

мости радиогалактик, от которых до нас доходит интенсивный поток радиоизлучения.

Если вместо потока радиоизлучения, падающего на квадратный метр поверхности, расположенной на Земле, перпендикулярно к лучам источника, введем для данной длины волны видимые радиовеличины m соответствующие абсолютные величины M_k , то, в согласии с Хенбери Брауном и Хазардом, нульпункт радиовеличин можно выбрать так, чтобы для какой-либо нормальной галактики (скажем M 31 или подобной ей) видимая радиовеличина была бы равна фотографической.

Тогда радиогалактиками будут считаться те из галактик, для которых разность:

$$C = m_{pg} - m_k,$$

характеризующая степень отклонения радиоизлучения галактики от «нормы», больше некоторого постоянного C_0 .

Распределение всех галактик, заключенных в единице объема пространства по диаграмме M_{pg}, M_k , можно охарактеризовать некоторой функцией $\psi(M_{pg}, M_k)$. При этом радиогалактики будут на диаграмме находиться по одну сторону от прямой

$$M_k = M_{pg} - C_0.$$

Очевидно, что тогда функция распределения абсолютных фотографических величин радиогалактик среди объектов, радиосветимости которых выше некоторого предела, будет выражаться, с точностью до постоянного множителя, функцией:

$$\psi(M_{pg}) = \int_{-\infty}^{M_{pg} - C_0} \psi(M_{pg}, M_k) 10^{-0.6M_k} dM_k.$$

Из этой формулы видно, что поведение функции $\psi(M_{pg})$ определяется главным образом галактиками высокой радиосветимости, если только между M_k и M_{pg} нет отрицательной корреляции. При этом заслуживает особого внимания то, что дисперсия M_k очень велика.

Поэтому полученное нами преобладание галактик высокой фотографической светимости (сверхгигантов) среди радиогалактик есть свойство, относящееся прежде всего к радиогалактикам высокой радиосветимости. Тем не менее, этот факт имеет глубокое физическое значение. Во всяком случае, мы еще не имеем оснований утверждать, что все радиогалактики являются галактиками сверхгигантами. Вполне возмож-

но, что существуют радиогалактики, имеющие в фотографических лучах низкую светимость. Не исключена в частности возможность, что среди галактик низкой фотографической светимости много радиогалактик с низкой радиосветимостью. Вместе с тем, совершенно очевидно, что процент сверхгигантов среди радиогалактик с мощным радиоизлучением больше, чем среди всех галактик вообще.

3. Совершенно очевидно, что факт относительного преобладания сверхгигантов среди радиогалактик представляет большие трудности для гипотезы о столкновениях. Разумеется, трудно отрицать возможность столкновений между галактиками. Но поскольку мы можем судить, данные о двойственности радиогалактик говорят о том, что гипотеза о столкновениях должна предполагать, что в наблюдаемых случаях между собой сталкиваются сравнимые по светимости объекты. Иными словами, мы должны допустить, что мы имеем дело со столкновениями между сверхгигантами. Это очень странно, поскольку столкновения между сверхгигантами должны происходить в сотни тысяч раз реже, чем столкновения между карликовыми галактиками.

Понятно, что для возбуждения интенсивного радиоизлучения необходимы определенные условия столкновений. Вероятно большую роль играет относительная скорость сталкивающихся галактик и возможно их массы. Поэтому могла получиться и некоторая зависимость от светимости галактики. Однако столь резкое преобладание сверхгигантов среди наблюдаемых радиогалактик требует искусственного предположения о чрезвычайно сильной зависимости возбуждаемого радиоизлучения от масс сталкивающихся галактик.

Кроме того, галактики-сверхгиганты столь высокой светимости (порядка 10^{40}) встречаются в скоплениях галактик лишь единицами, в качестве их самых ярких членов. Различные же скопления расходятся между собой. Это устраняет возможность столкновений между собой галактик, входящих в разные скопления, а тем самым сильно уменьшает возможность столкновений сверхгигантов.

Гораздо более естественным является допущение, что галактики сверхгиганты могут расщепляться или выбрасывать из глубины своих ядер большие космические массы со значительной скоростью. В таком случае возможны две различные причины появления частиц, производящих радиоизлучение: 1) частицы высоких энергий, производящие радиоизлучение, возникают в результате взаимодействия газов отделившейся массы с газовыми облаками первоначальной галактики; с физической точки зрения это тот же механизм, который предполагается при гипотезе столкновения и 2) частицы высоких энергий, вызывающие радиоизлучение, испускаются звездами, входящими в выброшенную массу — звездами, которые, вероятно, находятся в стадии становления.

Таким образом, факт относительного преобладания сверхгигантов среди радиогалактик представляет собой аргумент в пользу гипотезы деления (расщепления), который, по-видимому, нельзя обратить в аргумент, свидетельствующий в пользу гипотезы столкновений.

Нам кажется, что дальнейшие аргументы подобного рода могут быть получены на основе изучения данных, относящихся к кратным галактикам. Попытка представления таких аргументов была сделана в нашей недавней работе [1] о кратных галактиках. Но более детальное изучение кратных галактик может, по-видимому, пролить дополнительный свет на изучаемый вопрос.

Бюраканская астрофизическая обсерватория
Академии наук Армянской ССР

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. А. Амбарцумян, Известия Академии наук АрмССР, серия физ.-мат. и техн. наук, **9**, 23, 1956.
2. В. Бааде и Р. Минковский, *Ap. J.*, **119**, 206, 1954.
3. М. Л. Хьюмасон, Н. У. Мейол и А. Р. Сандедж, *A. J.*, **61**, 97, 1956.

КРАТНЫЕ ГАЛАКТИКИ И РАДИОГАЛАКТИКИ*

Сообщение II. Голубые выбросы и спутники эллиптических галактик

(Представлено 15. VIII 1957)

Существенной особенностью радиогалактики Virgo A (M 87 = NGC 4486) является наличие струи, исходящей из ее центра и содержащей три заметных сгущения. Поляриметрические наблюдения В. Бааде [1] позволили установить, что излучение этих сгущений в значительной мере поляризовано. Это означает, что оно имеет нетепловое происхождение. Согласно М. Л. Хьюмасону [2] и Р. Минковскому [3] спектр сгущений является непрерывным. Все это позволяет думать, что механизм излучения в данном случае аналогичен механизму непрерывной эмиссии в Крабовидной туманности. Эта эмиссия, как известно, объясняется, обычно, как тормозное излучение релятивистских электронов в магнитном поле (синхротронное излучение). Поэтому возможно, что непрерывный спектр сгущений в NGC 4486 происходит от релятивистских электронов. Однако в настоящей статье мы считаем правильным не вводить никаких предположений о механизме излучения и говорить просто о явлении *непрерывной эмиссии*, подразумевая, что речь идет об *эмиссии, имеющей нетепловую природу*.

Встает вопрос, нет ли других галактик, в которых наблюдались бы струи со сгущениями, дающими непрерывную эмиссию. Если вспомнить, что упомянутые сгущения в NGC 4486 доступны только крупным инструментам и обуславливают сравнительно слабый контраст на общем фоне рассматриваемой галактики, а также, если учесть, что поиски следует вести среди более отдаленных галактик, поскольку более близкие объекты сразу обнаружили бы себя как интенсивные радиоисточники, задача обнаружения галактик с подобными сгущениями представляется крайне трудной.

* ДАН АрмССР, 25, 185, 1957. Соавтор Р. К. Шахбазян.

Однако нам с самого начала казалось, что могут быть объекты, в которых сгущения рассматриваемого вида могут достигать гораздо более крупных размеров и *более высокой светимости*. Если это так, то представлялось интересным изучить возможность использования карт звездного атласа Паломарской обсерватории для поисков подобных объектов.

Однако на этом пути встречаются большие препятствия. Сгущения в NGC 4486 находятся столь близко к центру этой галактики и в столь яркой ее области, что соответствующие области в других галактиках обычно бывают на картах атласа передержаны. Кроме того, если бы даже не было передержки, то у более отдаленных галактик, вследствие малости масштаба карт, указанные сгущения сливались бы с центральным ядром. Даже если бы подобное сгущение было бы обнаружено, то всегда оставалась бы вероятность, что мы видим сквозь данную галактику некоторую более отдаленную галактику, обладающую малым угловым диаметром.

Если, однако, допустить возможность столь длинной струи, что эта струя, начинаясь в центре галактики, выходит за пределы передержанной и даже нормально выдержанной на фотографии области этой галактики, то первая трудность отпадает. С другой стороны, если имеются случаи, когда весьма *голубой цвет* сгущения исключает возможность того, что оно, на самом деле, представляет отдаленную слабую галактику или слабую звезду, то можно пытаться обнаружить такие случаи на картах Паломарского атласа. Очевидно, что при поисках подобных объектов надо было ограничиться высокими галактическими широтами, где число слабых голубых звезд мало.

Мы ясно понимали, что, выставляя приведенные три требования (большая светимость, значительная длина струи и интенсивно голубой цвет), мы останавливались на объектах, у которых свойства, наблюдаемые в сгущениях NGC 4486, сильно гипертрофированы, т. е., что мы ограничиваемся поисками крайних случаев подобных объектов. Именно поэтому нельзя было надеяться на обнаружение большого числа голубых выбросов из галактик.

При наших поисках мы заранее исключали все спиральные и иррегулярные галактики, так как тривиальные случаи ветвей с содержащимися в них отдельными ассоциациями, обладающими часто интенсивно голубым цветом, для нас не представляли интереса. Таким образом, мы ограничились изучением эллиптических галактик, а также галактик типа S0.

С другой стороны, мы считали очевидным, что сама струя, которая содержит сгущение, может быстрее рассеяться или потерять способность излучать, чем само сгущение. Такой подход к вопросу привел к обнаружению ряда случаев, когда мы наблюдаем голубые спутники у

эллиптических галактик. Разумеется, что в этом случае мы не можем быть уверены в том, что имеем дело с фактом выброса. Более того, вопрос о физической связи между таким спутником и эллиптической галактикой подлежит дальнейшему изучению, тем более, что существование слабых одиночных галактик с отрицательным показателем цвета, как показали наши поиски, является (в полном соответствии с исследованиями Г. Аро [4]) несомненным. Тем не менее мы приведем здесь несколько разительных примеров обнаруженных нами голубых объектов, находящихся близ эллиптических галактик.

Методика определения цвета звезд на основе сравнения между собой Паломарских карт в синих и красных лучах была разработана нами уже некоторое время тому назад. Она была применена к одному шарообразному скоплению [5]. В дальнейшем она была нами несколько усовершенствована и мы стали применять ее также к отдельным сгусткам, изображения которых напоминают звездные изображения. Наша методика совершенно неприменима к галактикам и сгущениям, имеющим на картах значительный диаметр.

Ниже приводятся данные о некоторых наиболее интересных объектах.

1. *Двойная галактика NGC 3561.* Двойная галактика, с приближенными координатами (1950) $\alpha = 11^{\text{h}} 8^{\text{m}} 30^{\text{s}}$, $\delta = +28^{\circ} 58'$, может быть отождествлена с NGC 3561. Южная и более яркая составляющая этой галактики, которую мы будем обозначать через NGC 3561a, имеет сферическую форму и выброс в виде струи, направленной на юг. Струя видна как на синей, так и на красной картах Паломарского атласа. Струя заканчивается сгущением, довольно ярким на синей карте, и почти незаметным на красной карте. *Показатель цвета сгущения* в интернациональной системе, полученный из сравнения двух карт, *оказывается* равным — $0^{\text{m}} 5$. Звездная величина сгущения в фотографических лучах $19^{\text{m}} 2$. Снимок рассматриваемой двойной галактики, снятый двухсотдюймовым телескопом Паломарской обсерватории, в фотографических лучах приводится в интересной статье Ф. Цвикки [6], посвященной кратным галактикам.

Двойная галактика NGC 3561 входит в состав довольно богатого скопления галактик. По своему видимому блеску галактика NGC 3561a занимает среди членов скопления второе или третье место, обладая большей светимостью, чем, например, ряд спиральных галактик, входящих в это скопление. Поэтому нет сомнений, что NGC 3561a является сверхгигантской галактикой с абсолютной фотографической величиной порядка $-20^{\text{m}} 0$. Поскольку лучевые скорости членов скопления до сих пор не опубликованы, для определения расстояния мы должны воспользоваться оценкой абсолютной величины. Для осторожности при дальнейшем расчете будем считать, что $M = -19^{\text{m}} 5$.

Как указывалось выше, в отношении ярких галактик, занимающих заметную площадь, трудно получать сколько-нибудь точные оценки блеска и цвета на основе карт Паломарского атласа. Однако сравнение с галактиками, для которых блеск известен, позволяет сделать грубую оценку. Мы нашли $m_{pg} = 14^m.7$. Чтобы не переоценить расстояние, мы примем для расчета несколько больший блеск, $m_{pg} = 14^m.5$. Тогда для модуля расстояния имеем $m - M = 34^m$, что соответствует расстоянию около 60 миллионов *парсек*. Учитывая также наличие галактического поглощения, нужно считать, что расстояние, равное 50 миллионам *парсек*, будет первым грубым приближением. Таким образом речь идет о галактике, находящейся в довольно отдаленном скоплении.

Размеры галактики на фотографии порядка $22'' \times 20''$. Конечно, эти размеры зависят от экспозиции. Для диаметра галактики получается значение порядка 5000 *парсек*. Длина струи порядка 0.5, т. е. около 7000 *парсек*.

Из приведенной выше оценки блеска голубого сгущения получаем $M_{cc} = -15^m.5$. Эта последняя цифра весьма существенна. Она свидетельствует о том, что сгущение не является простой ассоциацией голубых звезд обычного типа. Как известно, средняя абсолютная величина O - ассоциаций порядка -10^m , лишь изредка достигая -11^m . С другой стороны, светимость рассматриваемого сгущения выше светимости многих карликовых галактик. Поэтому можно считать установленным, что *это сгущение является объектом порядка галактики*. Многие галактики высокой светимости имеют спутников такой же светимости, как рассматриваемое сгущение. Например, таковы светимости спутников туманности Андромеды M 32 и NGC 205.

Вследствие необычно большого показателя цвета, который получается у рассматриваемого сгущения ($-0^m.5$), было весьма желательно проверить это значение на основе оригинальных негативов. Ф. Цвикки по нашей просьбе произвел эту приближенную оценку в июле этого года. Полученная им оценка показателя цвета совпадает с нашей.

Интересно отметить, что на Паломарских фотографиях наблюдается широкая слабая струя межгалактического вещества, выброшенная из двойной галактики NGC 3561 в направлении на север. Вид этой широкой струи напоминает другие аналогичные образования, открытые Цвикки.

2. IC 1181. Галактика с голубой струей обнаружена в известном скоплении галактик в Геркулесе. Ее координаты (1950): $\alpha = 16^h 3^m 3$, $\delta = +17^\circ 43'$, соответствуют приблизительно объекту IC 1181. Рассматриваемая галактика не принадлежит к числу самых ярких объектов скопления в Геркулесе. Однако можно считать, что она входит во вто-

рую пятерку членов скопления, когда они расположены в порядке убывающей яркости. Цвет струи отличается от цвета галактики. Он более голубой. Это следует из того, что на синем снимке струя видна гораздо лучше чем на красном.

Особенностью рассматриваемой галактики является то, что струя, направленная на восток, как бы обрывается на расстоянии примерно двадцати секунд от центра галактики. Однако на ее продолжении наблюдаются два слабых обрывка, причем второй обрывок струи, находящийся примерно на расстоянии $1'$ от центра галактики, содержит два голубых сгущения. Эти сгущения очень слабы на красном снимке, но достигают значительной яркости на синем (см. схему 1). Сгущения А и В имеют следующие фотографические величины и показатели цвета:

Объект	m_{pg}	CI
А	19.4	0.0
В	19.0	-0.2

Расстояние скопления в Геркулесе, судя по лучевым скоростям его членов, порядка 60 миллионов *парсек*. Фотографическая величина галактики IC 1181 около $15^m.5$. Таким образом, абсолютная величина этой галактики около $-18^m.5$. Для абсолютной величины голубого выброса В получаем тогда $M = -15^m$. Таким образом, выброс В так же, как и выброс, рассмотренный в предыдущем примере, имеет абсолютную ве-

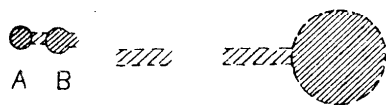


Схема 1.

личину, характерную для многих галактик. Поэтому было бы правильно рассматривать изучаемые сгущения как крайне голубые галактики. Судя по тому, что изображения рассматриваемых объектов, особенно объекта В, отличаются

от изображений звезд, можно заключить, что их диаметры, во всяком случае, превосходят $3''$. Это означает, что яркие части рассматриваемых сгущений имеют поперечники больше чем 1000 *парсек*. Тем самым вновь подтверждается, что наши сгущения являются объектами масштаба небольших галактик.

3. *Anon I*. В области вокруг точки $5^h 47^m, -25^\circ.5$ (1950) находится весьма интересное скопление галактик. Оно замечательно тем, что среди своих наиболее ярких членов содержит значительное число (около двух десятков) объектов круглой формы, по-видимому, эллиптических галактик, имеющих приблизительно одинаковые диаметры и видимые величины. Их диаметры заключены в пределах от $0'.3$ до $0'.6$. Бросается в глаза также то, что эти галактики не разбросаны случайно по скопле-

нию, а образуют большей частью более тесные группы, содержащие иногда две или три подобные галактики. Мы не имеем сведений о лучевых скоростях галактик этого скопления. Поэтому трудно оценить расстояние до него. Однако видимые величины наиболее ярких галактик так же, как их видимые диаметры, позволяют заключить, что скопление находится на расстоянии порядка сорока миллионов парсек или несколько больше. Одна из ярких эллиптических галактик скопления, имеющая координаты $5^{\text{h}} 40^{\text{m}} 3$, $-26^{\circ} 8'$ (1950), имеет спутника, расположенного на $0'.4$ севернее и на $0'.6$ западнее него. Этот спутник не является точечным объектом и поэтому при оценке как его блеска, так и цвета возможны ошибки. Оценка блеска в синих лучах дает $18^{\text{m}}.5$, а в красных лучах $19^{\text{m}}.1$. Для показателя цвета в интернациональной системе получаем $-0^{\text{m}}.4$. Учитывая возможность ошибки, происходящей от протяженности объекта, мы примем, что действительный показатель цвета порядка $-0^{\text{m}}.2$. Принимая для расстояния галактики и спутника приведенное выше расстояние скопления, мы получаем, что абсолютная величина спутника должна быть около $-14^{\text{m}}.5$, т. е. такая же, как и абсолютная величина двух предыдущих голубых объектов. В этом случае струя, соединяющая голубой спутник с центром эллиптической туманности, отсутствует.

4. *Анон 2*. Может быть, самыми интересными из голубых объектов, связанных с эллиптическими галактиками, являются спутники туманности, имеющей координаты $11^{\text{h}} 8^{\text{m}} 0$ и $+28^{\circ} 36'$ (1950). Эта галактика имеет трех спутников, расположенных почти по направлению север — юг (см. схему 2). Видимые величины этих трех спутников и показатели цвета *CI* в интернациональной системе оказываются равными:

Спутник	m_{pg}	m_r	<i>CI</i>	$(CI)_0$
1	20.1	19.8	0.2	0.3
2	18.6	19.8	-0.8	-0.7
3	19.6	19.9	-0.2	-0.1

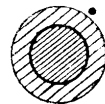


Схема 2. Анон 2.

В последнем столбце этой таблички даны исправленные показатели цвета в связи с тем, что использованная пара карт Паломарского атласа дает показатели цвета, систематически уменьшенные на $0^{\text{m}}.1$. Спутники расположены в таблице в порядке возрастающих расстояний от центральной галактики.

У второго спутника показатель цвета оказывается совершенно необычным. Трудно представить такой состав звездного населения этого спутника, который мог бы дать подобный показатель цвета. Однако и

третий спутник является довольно голубым, имея показатель цвета такой же, как у звезд В5. Наконец обращает на себя внимание то, что три спутника вытянуты в цепочку, что напоминает о голубых спутниках, являющихся сгущениями в струе.

5. *Апол 3*. Весьма голубой цвет имеет также один из спутников галактики, имеющей координаты $\alpha = 11^{\text{h}} 13^{\text{m}} 9$; $\delta = + 29^{\circ} 31'$ (1950), входящий в состав сравнительно небольшого скопления ярких галактик. Эта галактика, по существу, является составляющей пары эллиптических галактик, каждая из которых имеет примерно 15-ую величину, а расстояние между составляющими равно примерно двадцати секундам. На расстоянии около полминуты к юго-востоку от этой пары находится голубой спутник. Его фотографическая величина равна $18^{\text{m}}.2$, а визуальная величина — $19^{\text{m}}.2$. Определенный отсюда показатель цвета равен $-0^{\text{m}}.6$. Однако, внося поправку, выведенную для данной пары карт, получаем $CI = -0^{\text{m}}.5$.

6. *Белый выброс из двойной галактики*. Двойная галактика с координатами $\alpha = 10^{\text{h}} 3^{\text{m}} 8$; $\delta = -1^{\circ} 19'$ (1950) окружена выброшенными слабосветящимися массами и с этой точки зрения очень напоминает двойную галактику NGC 3561, о которой уже говорилось выше. Выброшенная материя простирается как на север, так и на юг от двойной галактики. На юге это вещество доходит до звездообразного сгущения, находящегося на расстоянии $1'.8$ от центра эллиптического (южного) компонента двойной галактики. В рассматриваемом случае связь между звездообразным сгущением и двойной галактикой осуществляется не посредством прямолинейной струи, а посредством более диффузного образования. Видимая фотографическая величина выброса равна $19^{\text{m}}.3$. Показатель цвета звездообразного сгущения равен приблизительно нулю. Таким образом, рассматриваемый объект является белым.

Заключение. Нам кажется, что приведенные выше примеры с несомненностью устанавливают наличие голубых спутников у некоторых эллиптических галактик. В трех случаях спутники связаны с центральной галактикой струями или разреженным диффузным образованием. Это позволяет говорить о голубых выбросах из эллиптических галактик. В других случаях такой связи между спутниками и центральной галактикой нет, однако генетическая связь несомненна. Мы не исключаем возможности существования желтых и красных выбросов, дающих непрерывную эмиссию в соответствующих участках спектра, однако спутников такого типа мы не можем отличить от обычных спутников тех же цветов, дающих обычное тепловое излучение звезд. Однако наше внимание в первую очередь привлекают голубые объекты и не только потому, что физическая связь их с соответствующими галактиками почти досто-

19 Труды

верна. Дело в том, что сама природа указанных объектов должна быть весьма интересна. В случае выброса из NGC 3561 аналогия с NGC 4486 настолько сильна, что можно предполагать наличие непрерывной эмиссии. Вследствие этого представляется крайне интересным провести поляризационные измерения блеска этого выброса. Но и в случае спутников, не соединенных струей с центральной галактикой, объяснение больших отрицательных показателей цвета (порядка $-0^m 5$) является затруднительным. Трудно представить себе, чтобы почти все излучение этих спутников в видимой области спектра было обусловлено одними лишь звездами типа О. Между тем иначе невозможно дать объяснение на основе теплового излучения. Поэтому и в этих случаях не исключена возможность того, что непрерывная эмиссия, возникающая в межзвездной среде, играет очень большую роль.

Бюраканская астрофизическая обсерватория
Академии наук Армянской ССР

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. Бааде, *Ap. J.*, **123**, 540, 1956.
2. В. Бааде и Р. Минковский, *Ap. J.*, **119**, 222, 1954.
3. Минковский, Устное сообщение.
4. Г. Аро, *Boletin Obs. Tonantzintla y Tacubaya*, № **14**, 8, 1956.
5. Р. К. Шахбазян, *Астрономический циркуляр*, № **171**, 11, 1957.
6. Ф. Цвикки, *Multiple galaxies. Ergebn. der exakten Naturwissenschaften*, **29**, 344, 1956.

КРАТНЫЕ ГАЛАКТИКИ И РАДИОГАЛАКТИКИ*

Сообщение III. О двухядерных галактиках

(Представлено 6. I 1958).

Как известно, одной из особенностей радиогалактики в Лебеде (Лебедь А) является наличие двух ядер. С другой стороны, как показал Цвикки, существует значительное число двойных галактик, в которых обе составляющие связаны между собой слабосветящимися перемычками, которые иногда имеют довольно диффузный характер, а иногда, наоборот, форму сравнительно тонких волокон. Согласно Цвикки, такие перемычки являются результатом приливного взаимодействия двух галактик. При этом, по-видимому, он имеет в виду сближение двух ранее независимых друг от друга галактик. Такая точка зрения находится в известном соответствии с представлением о радиогалактиках, как сталкивающихся парах галактик. Противоположный взгляд, согласно которому радиогалактики являются системами, находящимися в процессе деления или же переживающими процесс выброса из ядра значительных масс, может быть распространен и на вышеуказанные пары с перемычками между компонентами. Именно, можно считать, что каждая такая пара является уже разделившейся галактикой, части которой удаляются друг от друга и уже представляют отдельные системы, правда, еще связанные материально между собой.

Для решения возникающих таким образом вопросов может оказаться полезным изучение промежуточных случаев, когда два ядра находятся друг от друга на значительном расстоянии, составляющем уже заметную долю линейных размеров всей системы, но система в целом еще представляется целой галактикой. Нам кажется, что если среди подобных промежуточных систем существуют более или менее симметричные объекты и притом не только с точки зрения примерно одинаковой мощности обоих ядер, но и в смысле симметричного строения перифериче-

* ДАН АрмССР, 26, 73, 1958.

ских частей, то такие системы вряд ли могут считаться продуктами случайного сближения или столкновения. Такие системы могут оказаться серьезным свидетельством в пользу гипотезы деления ядер галактик. Однако более определенное заключение можно сделать на основании изучения отдельных конкретных случаев. Несколько подобных случаев сравнительно симметричных двоядерных галактик было нами найдено в результате просмотра части карт Паломарского атласа звездного неба. Ниже мы приводим описание четырех подобных случаев.

IC 1181. Рассматриваемая галактика находится вблизи южной окраины известного скопления галактик в Геркулесе. Ее блеск близок к блеску наиболее ярких членов этого скопления. Поэтому вполне возможно, что она связана со скоплением в Геркулесе.

Если исключить из рассмотрения два ядра, находящихся в центральной части этой галактики, т. е., если рассматривать только области низкой поверхностной яркости, то галактика напоминает зеркальное отображение буквы S и, при этом, довольно правильное и симметричное. Наибольший поперечник галактики несколько превосходит $2'.2$. В средней части расположены два ядра, находящиеся друг от друга на расстоянии порядка $0'.5$ вдоль перекадины буквы S. Оба эти ядра находятся примерно на одинаковых расстояниях от середины перекадины. Поэтому картина продолжает оставаться симметричной с тем отклонением от симметрии, что ядра не одинаковы. Северное ядро ярче южного примерно на $0^m.8$ и имеет меньшее поперечное сечение. Кроме того, северное ядро имеет круглую форму, в то время как южное, более слабое ядро, значительно вытянуто.

Предположение о том, что одно из ядер проектируется на галактику, кажется совершенно неправдоподобным, так как мысленное удаление одного из ядер делает галактику слишком несимметричной. Мы не говорим уже о том, что вероятность такого точного проектирования очень мала. Если принять предположение о принадлежности галактики к скоплению в Геркулесе, то для наибольшего диаметра галактики получаем в линейной мере 35 000 *парсеков*, что является необычным. Для диаметров ядер, которые в угловой мере порядка $0'.4$, получаем около 6000 *парсеков*. Абсолютные величины ядер в фотографических лучах, основанные на грубой оценке их видимых величин, получаются порядка — 17.0 и — 17.8. Таким образом, каждое ядро можно представить себе как гигантскую эллиптическую галактику. Впрочем, пока нельзя исключить возможность того, что наш объект находится гораздо ближе к нам, чем скопление в Геркулесе.

Трудно представить себе, что столкновение двух ранее независимых друг от друга галактик могло бы привести к образованию подобной конфигурации. Поэтому более вероятным является предположение о разде-

лении первоначального ядра, в связи с чем возникли также и рукава этой, пока еще остающейся единой, галактики.

Безымянная 1. Эта галактика (координаты: $\alpha = 0^{\text{h}} 41^{\text{m}} 8$, $\delta = -17^{\circ} 37'$; 1950) представляет собою вытянутое образование длиной 1' и шириной в 0'.2. Галактика имеет в проекции вид бруска, внутри которого имеются два ядра, несколько отличающиеся друг от друга по блеску. Эти ядра примерно 18-ой величины. Встречающиеся в окрестностях другие галактики имеют гораздо меньшие угловые размеры.

При более внимательном рассмотрении изображений рассматриваемой галактики кажется, что ее края несколько загнуты в противоположные стороны и тем самым она напоминает предыдущий объект.

Хотя нельзя совершенно исключить предположение о случайном сложении проекции двух различных галактик, все же и в этом случае более правдоподобна точка зрения, согласно которой мы имеем дело с одной галактикой, обладающей двумя ядрами.

Безымянная 2. Этот объект ($\alpha = 14^{\text{h}} 35^{\text{m}} 8$, $\delta = +40^{\circ} 42'$; 1950) также имеет форму зеркального отображения буквы S, причем наибольшее линейное протяжение порядка 1'. Вдоль перекладки буквы S расположены два ядра, каждое из которых вытянуто в направлении самой перекладки. Сумма больших осей обоих ядер почти равна длине перекладки, вследствие чего ядра почти соприкасаются. Грубая оценка яркости дает для звездной величины каждого из ядер 16.5.

На любопытное строение этой галактики, независимо от нас, обратил внимание и Б. А. Воронцов-Вельяминов.

По тем же соображениям, как и в предыдущих случаях, мы не можем рассматривать эту галактику ни как результат случайного проектирования, ни как результат случайного сближения.

Безымянная 3. В области с координатами $\alpha = 22^{\text{h}} 18^{\text{m}} 6$, $\delta = -12^{\circ} 33'$ (1950) имеется вытянутая галактика эллиптической формы с двумя ядрами. Большой поперечник галактики порядка 30", а расстояние между ядрами порядка 10". Ядра мало отличаются друг от друга по блеску. Согласно грубой оценке, звездные величины ядер равны $18^{\text{m}} 2$ и $18^{\text{m}} 5$ в фотографических лучах. Вследствие малых размеров изображений на карте, детальное строение галактики остается неясным. Однако в первом приближении она также симметрична, как и предыдущие объекты. Ядра расположены вдоль большой оси галактики.

Заключение. Если в каждом из предыдущих случаев можно считать мало вероятным случайное проектирование или случайное сближение, сочетаемые со случайным образованием симметричной конфигурации, то представляется совершенно невозможным повторение четырех столь подобных друг другу случаев. Заметим, вдобавок, что карты Паломар-

ского атласа рассматривались нами в других целях, и потому число объектов рассматриваемого типа может быть значительно больше. Следует также отметить, что встречались случаи, которые в свою очередь можно считать за объекты, промежуточные между двоядерными галактиками рассмотренного уже типа и парами галактик, соединенных между собой мостами таким образом, что картина получалась довольно симметричной. Сведений об этих случаях мы здесь не приводим.

Нам представляется, что существование двоядерных галактик находится в согласии с гипотезой о делении ядер. К подробному обсуждению этого вопроса мы предполагаем еще вернуться.

Бюраканская астрофизическая обсерватория
Академии наук Армянской ССР

КРАТНЫЕ ГАЛАКТИКИ И РАДИОГАЛАКТИКИ*

Сообщение IV. Голубые объекты около эллиптических галактик

(Представлено 3. II 1958)

В одной из предыдущих статей настоящей серии нами сообщалось о наличии вблизи некоторых эллиптических галактик голубых выбросов и спутников. Показатель цвета некоторых из этих объектов в интернациональной системе оказался порядка $-0^m.5$.

Дальнейшее изучение окрестностей эллиптических галактик на картах Паломарского атласа, а также окрестностей линзовидных галактик, дало возможность обнаружить еще ряд голубых объектов.

Нижеприведенная таблица содержит десять подобных объектов, для которых произведенные нами измерения дают отрицательный показатель цвета.

Как и прежде, фотографические и красные величины определялись путем сравнения на картах Паломарского атласа изображений изучаемых объектов с соответствующими изображениями стандартных звезд в скоплении М3.

В полученный таким образом показатель цвета вводилась поправка на различия в предельных звездных величинах между рассматриваемой парой карт и той, которая содержит изображение скопления М3. Были разработаны дополнительные способы нахождения указанных поправок.

Благодаря этому повысилась надежность определяемых нами показателей цвета. Однако количественная оценка точности может быть дана лишь после того, как будут произведены специальные ряды независимых фотометрических наблюдений тех же объектов.

Некоторые из галактик, около которых обнаружены голубые объекты, были отождествлены с туманностями каталога NGC. Другие нами обозначены символами А5, А6 и т. д. Эти обозначения представляют собой видоизмененное продолжение обозначений *Apop 1*, *Apop 2* и т. д., введенных в цитированной выше статье.

* ДАН АрмССР, **26**, 277, 1958. Соавтор Р. К. Шахбазян.

Во втором и третьем столбцах таблицы даны приближенные координаты эллиптических галактик, около которых находятся данные объекты, в четвертом и пятом столбцах приведены выраженные в минутах дуги разности $\Delta\alpha$ и $\Delta\delta$ между координатами объекта и центра соответствующей эллиптической галактики, в шестом столбце дается фотографическая величина объекта. Заметим, что она не исправлена за поправку предельной звездной величины данной карты. В седьмом столбце дан показатель цвета объекта, приведенный к интернациональной системе. После таблицы приводятся примечания.

Центральная галактика	α (1950)	δ (1950)	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$	m_{pg}	CI
NGC596	1 ^h 30 ^m 3	— 7° 17'	+4'.3	—1'.3	19 ^m .7	—0 ^m .2
A5	2 31.5	— 44	+1.1	+1.1	19.3	—0.1
			+1.3	+0.8	19.4	—0.1
A6	9 36.5	+32 36	—2.4	+3.1	19.5	—0.1
A7	10 53.5	+67 26	+0.2	+0.4	19.6	—0.1
NGC4061	12 1.6	+20 31	—4.1	—2.0	19.8 (20.2)	—0.2 (+0.1)
IC847	13 4.8	+53 56	—0.6	+0.2	19.3	—0.2
A8	13 45.7	+ 7 38	0.0	+1.1	18.8	—0.2
A9	14 45.6	+19 16	+0.9	+2.0	19.6	—0.2
A10	16 57.3	+34 24	—1.9	+0.6	18.8	—0.1

П р и м е ч а н и я

NGC 596. Около довольно яркой эллиптической галактики находится голубой объект вытянутой формы, длиной в 10". При более детальном рассмотрении выяснилось, что он состоит из двух объектов, один из которых (более яркий) имеет показатель цвета —0^m.2. Другой имеет положительный показатель цвета.

A5. Внутреннее яркое, с резко очерченными краями ядро центральной галактики представляется на голубом снимке окруженным слабосветящейся оболочкой. Не исключена возможность того, что центральная галактика является линзовидной (S0). Спутники являются на снимках звездообразными объектами.

A6. Голубой объект находится в окрестностях тесной пары галактик, из которых одна является спиралью, а другая возможно принадлежит к типу линзовидных галактик. Разности координат, приведенные в таблице, отсчитаны от предшествующей составляющей. Голубой объект расположен примерно в 15" к югу от более яркой, чем он сам, звезды.

A7. Объект находится вблизи тесной группы сравнительно ярких

эллиптических галактик и ранних спиралей. Приведенные в таблице значения разностей координат отнесены к центру наиболее яркой галактики, являющейся вместе с тем наиболее северной из ярких галактик группы. В $8''$ к юго-востоку от голубого объекта находится более слабый объект.

NGC 4061 Объект находится в окрестностях пары ярких эллиптических галактик NGC 4061—4065. Разности координат, приведенные в таблице, отнесены к галактике NGC 4061. Изображение объекта имеется на двух парах карт. При определении показателя цвета между оценками по этим двум парам получилось расхождение в 0^m3 . Возможно, что это расхождение обусловлено протяженностью объекта. В таблице приведены оба значения показателя цвета.

IC 847. Объект является звездообразным. Центральная эллиптическая галактика входит в группу эллиптических галактик и является, пожалуй, наиболее ярким объектом этой группы. Если голубой объект действительно является спутником галактики IC 847, то он должен быть образованием, обладающим светимостью порядка светимости карликовых галактик и, во всяком случае, значительно превосходящей светимость обычных O-ассоциаций.

A8. Звездообразный голубой объект находится вблизи пары ярких галактик, из которых одна представляет спиральную, а другая сферическую галактику. Приведенные в таблице разности координат отнесены к центру сферической галактики. Объект находится в проекции гораздо ближе к сферической галактике, чем к спиральной.

A9. Объект находится вблизи группы из нескольких галактик, в центре которой находится яркая пара, состоящая из спиральной и эллиптической галактик. Вся группа погружена в межгалактическое вещество. Разности координат отсчитаны от эллиптического компонента указанной пары.

A10. Объект звездообразный. Находится вблизи одиночной эллиптической галактики, от которой отсчитаны разности координат.

ОБ ЭВОЛЮЦИИ ГАЛАКТИК*

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 продвинулось 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 тридцатых годах к выводу о том, что звезды, их составляющие, возникли совместно. Иными словами, было установлено, что звезды в Галактике *могут* возникать группами [1].

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

3. Само существование звездных ассоциаций дало возможность сделать вывод о продолжающемся в Галактике процессе звездообразо-

* Изв. АН АрмССР, серия физ.-мат. наук, 11, № 5, 9, 1958. Статья была опубликована со следующим примечанием: „Настоящая статья представляет собой отчет, представленный автором XI Сольвейской конференции в Брюсселе в июне 1958 года. Отдельные места переработаны при подготовке статьи к печати“. *Ред.*

вания [3]. Открытие расширения звездных ассоциаций позволило заключить о том, что, по крайней мере, значительная часть звезд, входящих в плоские подсистемы Галактики (спиральные ветви и диск), также возникла в составе звездных групп, теперь уже распавшихся [4].

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.

Так, например, такие близкие к нам гигантские звездные системы, как М 31, М 81 и М 101, являются центрами в высшей степени интересных групп галактик. Сама наша Галактика имеет несколько спутников различной природы. Поэтому естественно думать, что вопрос о происхождении галактик не может быть отделен от вопроса о происхождении их групп и скоплений.

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.

В настоящем сообщении мы начинаем рассмотрение вопроса именно с проблемы кратных галактик и скоплений галактик. Однако изучение некоторых кратных систем привело нас к заключению, что между механизмом образования компонент и способом возникновения отдельных особенностей в структуре галактики существует интимная связь. Пока еще трудно понять точный характер этой связи, но нам кажется, дальнейшее изучение этой стороны вопроса должно открыть большие перспективы в решении вопроса о происхождении наблюдаемых структур

отдельных галактик. Наконец, исследование радиогалактик, систем, в которых происходят бурные нестационарные процессы, показало, что в каждой такой системе мы встречаемся в том или ином виде со следами двойственности. Сопоставляя это с другими данными, относящимися к кратным галактикам, мы видим, что чем теснее двойная или кратная система, тем более резко выявляются следы нестационарности. Все это вновь подчеркивает значение фактов, относящихся к кратности галактик и к тенденции галактик составлять группы, для проблемы происхождения и эволюции галактик.

Посвящая настоящий доклад этим вопросам, мы, вместе с тем, сознательно опускаем многие данные, относящиеся к звездному населению галактик и представляющие интерес для проблемы эволюции галактик, поскольку эти вопросы освещены в работах Бааде и других астрофизиков.

§ 1. *Физический смысл тенденции к группированию.* После работ Цвикки [5], а также Неймана, Скотт и Шена [6] 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 сгущениям 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 Метагалактике 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 [1]. 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 миллиарда лет.

В первом же случае, когда скопление обладает отрицательной энер-

гией, 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 распасться 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.

Вопрос о том, какой из рассмотренных двух вариантов имеет место в отношении данного скопления в каждом конкретном случае должен решаться на основе анализа лучевых скоростей и их сопоставления с массой скопления, которая должна быть определена, по возможности, независимым путем. В дальнейшем мы приведем некоторые конкретные примеры. Однако из того факта, что одиночных галактик мало, можно заключить, что скопления с положительной энергией или такие, у которых значительная часть членов обладает скоростями, превосходящими скорость отрыва, во всяком случае, не составляют большинства.

Выше мы говорили о том, что в результате взаимных сближений возможен распад стационарного скопления, происходящий вследствие ухода галактик, получивших большую кинетическую энергию. 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. Между тем мы видели, что и эти прямые процессы происходят столь редко, что не могут иметь существенного значения для скоплений с отрицательной энергией. Отсюда следует, что процессами захвата можно совершенно пренебречь.

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.

§ 2. *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 при диссоциативном равновесии математическое ожидание числа двойных галактик в Местной системе должно было быть меньше 0.05, а математическое ожидание 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. Таково же положение во многих других группах и скоплениях. В некоторых случаях степень отклонения от диссоциативного равновесия во много раз больше.

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.*

Этот вывод основан на статистических соображениях, поэтому он справедлив по отношению к подавляющему большинству кратных галактик. Однако наше доказательство оставляет возможность отдельных исключений, т. е. возможность того, что какое-то ничтожное меньшинство кратных галактик все же образовалось в результате взаимного захвата (при тройных сближениях или иным путем) из одиночных галактик.

§ 3. *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 несут 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 компонент 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.*

Правда, мы непосредственно наблюдаем не пространственные конфигурации, а лишь их проекции на небесную сферу. Однако изучение этих проекций позволяет сделать заключение о характере пространственных конфигураций.

При изучении проблем, относящихся к сравнительно молодым кратным звездам, мы разделили все возможные конфигурации на два глав-

ных типа: *конфигурации типа Трапеции Ориона и конфигурации обыкновенного типа* [7]. 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*.

Это определение нуждается в дополнении. Для его применения нужно условиться о том, в каком случае три расстояния мы считаем величинами одного порядка. Удобно считать расстояния ab, bc, ac одного порядка в том случае, когда все три отношения $\frac{ab}{ac}, \frac{ab}{bc}$ и $\frac{ac}{bc}$ заключены в пределах между k_0 и $\frac{1}{k_0}$, где k_0 — некоторое число порядка $\sqrt{10}$.

Если мы хотим произвести более строгий отбор, то значение k_0 можно взять несколько меньшим, чем $\sqrt{10}$. Например, в некоторых работах мы брали $k_0 = 2.5$. Те же системы, где нет троек, в которых отношение наибольшего расстояния к наименьшему меньше 2.5, но есть тройка, в которой это отношение заключено между 2.5 и 3, мы называли системами *промежуточного типа*.

Такое разделение конфигураций кратных систем на два основных типа с прибавлением промежуточного типа, введенного нами лишь для большего разграничения основных типов, оказывается полезным и для целей внегалактической астрономии.

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 типа O и B0 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 [8], 87 имеют такие конфигурации, что безусловно должны быть отнесены к типу Трапеции. Только 27 систем являются систе-

мами обыкновенного типа, в то время как остальные 18 имеют конфигурации промежуточного типа [9].

Резкая противоположность между характером конфигураций кратных галактик и конфигураций кратных звезд может быть проиллюстрирована также следующими примерами.

Если мы выберем из каталога визуально-кратных звезд всего неба те шесть кратных, главные компоненты которых обладают наибольшими видимыми яркостями среди всех главных компонент каталога кратных звезд, то окажется, что все эти шесть кратных звезд обладают конфигурациями обыкновенного типа.

Если же теперь мы выпишем из каталога Холмберга шесть кратных галактик с наибольшими яркостями главных компонент, 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 компонент является спектрально двойной. Это—система, имеющая типичную обыкновенную конфигурацию. С другой стороны, наиболее выдающимся по блеску объектом среди шестикратных галактик является кратная система NGC 6027, изученная Сейфертом [10]. Она является характерной трапецией. Типичность этой трапеции подчеркивается тем, что из ее компонентов многими способами можно выбрать тройки галактик, все расстояния внутри которых — величины одного порядка.

Мы здесь не будем разбирать вопрос об избирательности каталога кратных галактик в отношении конфигураций разного типа. Точно так же мы не будем рассматривать чисто технический вопрос о поправках, которые необходимо внести в статистические данные для перехода от распределения по типам, получающимся в *проекции*, к распределению по типам, которое должно было бы получиться, если бы мы имели возможность вести статистику *пространственных* конфигураций. Эти вопросы в первом приближении рассмотрены в соответствующих работах автора. Получающиеся количественные поправки не меняют качественный результат. Поэтому мы получаем следующий вывод. *Большинство кратных галактик обладает конфигурациями типа Трапеции.*

§ 4. *О причине преобладания трапеций.* 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. В то время как движения в системе обыкновенного типа могут быть приближенно сведены к сумме

20 Труды

нескольких кеплеровских (а значит периодических) движений, движения в системе типа Трапеции являются весьма сложными и запутанными. С течением времени, при близком прохождении друг около друга двух компонент, одна 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 возникавших в Галактике систем типа Трапеции должно было разрушиться. Это объяснение, вместе с тем, дает возможность понять наблюдаемое в отношении звезд типов О и В0 исключение из правила. Многие из этих звезд обладают возрастом порядка 10^6 лет и значительно меньше, чем 10^7 лет. Между тем период обращения в наблюдаемых кратных звездах типа Трапеции должен быть порядка 10^5 — 10^6 лет. Поэтому число оборотов вокруг центра тяжести, которое могли успеть совершить компоненты этих трапеций, должно измеряться всего несколькими единицами. Вследствие этого эти кратные системы не успели разрушиться.

Но в отношении *кратных галактик* имеет место как раз такое же положение дел, что и в отношении О-В звезд. 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.

Поскольку механизм разрушения наблюдаемых нами кратных галактик, действующий избирательным образом только на системы типа Трапеции, не должен был успеть воздействовать в большинстве систем, то современное распределение конфигураций по типам отражает, по-видимому, то начальное распределение, которое обусловлено закономерностями возникновения кратных галактик.

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

§ 5. *Кратные системы с положительной энергией.* В предыдущем параграфе мы говорили об «обращениях» отдельных компонент в кратной галактике. Это предполагает, что речь идет о системах, в которых компоненты, по крайней мере на начальной стадии развития, удерживаются друг около друга гравитационными силами. Иными словами, 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 компонент, 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 подлежит проверить.

Постановка вопроса о возможном существовании кратных систем с положительной энергией может показаться излишней, так как в случае звезд все хорошо изученные до сих пор двойные и кратные системы оказались обладающими только отрицательной энергией. Представим, однако, на минуту, что кратные звезды возникают в Галактике как с отрицательной, так и с положительной энергией. Системы с положительной энергией должны распасться за время порядка 10^5 лет. Это время очень мало по сравнению с возрастом подавляющего большинства звезд. Именно этим должно объясняться, что кратные звезды, внутренние движения которых нами до сих пор изучены, имеют отрицательную энергию. Однако, поскольку кратные звезды типа Трапеции являются молодыми, нельзя без дальнейшего изучения утверждать, что все они обладают отрицательной энергией. Наоборот, следует думать, что некоторые системы типа Трапеции, встречающиеся в звездных ассоциациях, имеют положительную энергию. Так, например, находящаяся в скоплении IC 4996 (ассоциация в Лебеде) звезда ADS 13626 обладает визуальными компонентами, разность радиальных скоростей которых столь велика, что не может быть объяснена при допущении отрицательной полной энергии.

Аналогичное рассуждение справедливо по отношению к кратным галактикам, поскольку возраст некоторых кратных галактик может быть таким (порядка миллиарда лет), что компоненты хотя и находятся в процессе взаимного удаления, но не могли еще удалиться достаточно далеко друг от друга. 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 компонент двойной или кратной галактики можно делать статистические заключения о средних массах галактик. Раздельное рассмотрение вопро-

са 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 три раза больше, чем массы компонентов двойных галактик [9]. 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. Вводя предположение о том, что их энергия отрицательна, мы получаем при этом искусственно завышенные значения вероятных масс для входящих в эти системы галактик. Это свидетельство существования кратных систем с положительной энергией носит косвенный характер. Поэтому мы приведем два прямых свидетельства .

б) Рассмотрим группу галактик, связанную с М 81. Она состоит из четырех ярких галактик: NGC 3031 (М 81), NGC 3034 (М 82), NGC 2976 и NGC 3077, а также из нескольких более слабых галактик. Видимые интегральные фотографические звездные величины перечисленных выше четырех ярких галактик, согласно определению Холмберга [11], равны 7.85, 9.20, 10.73, 10.57. 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 Трапеции. То, что все четыре перечисленные галактики являются членами одной физической группы, вытекает из следующих соображений. Из них три (кроме М 82) имеют близкие друг к другу радиальные скорости. Их средняя, исправленная за движение Солнца, лучевая скорость равна $+72$ км/сек. Только у галактики М 82 лучевая скорость равна $+410$ км/сек. Поэтому относительно нее может возникнуть сомнение в принадлежности к группе. Однако между галактикой М 82 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 М 82 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. М 81. Но масса ее определена на основании изучения вращения Гвидо Мюнчем [12]. Она близка к 10^{11} масс Солнца. Лучевая скорость М 82 отличается от луче-

вой скорости М 81 на 327 км/сек . Разница пространственных скоростей может быть гораздо больше. Нетрудно рассчитать, что такая разность скоростей может соответствовать только гиперболическому движению, если сумма масс галактик М 81 и М 82 меньше, чем $3 \cdot 10^{11}$ солнечных масс. Таким образом, если предполагать эллиптическое движение, масса галактики М 82 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/сек и которая находится в проекции на расстоянии почти 55 тысяч 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 $\frac{M}{L}$ для М 82 (порядка 500). Учитывая же, что реальные относительные скорости могут составлять значительные углы с лучом зрения, мы придем к еще большим значениям массы М 82. Единственным выходом из создавшегося положения является допущение, что галактика М 82 просто удаляется из группы, связанной с М 81 со скоростью, значительно превосходящей скорость отрыва. Это означает, что один из членов группы получил уже в процессе ее возникновения положительную энергию.

с) Интересным примером является открытая Цвикки [13] группа из трех галактик IC 3481, IC 3483 и анонимная галактика, находящаяся между ними. Лучевые скорости их соответственно равны $+7011 \text{ км/сек}$, $+33 \text{ км/сек}$ и $+7229 \text{ км/сек}$. Загадкой является галактика IC 3483. Если она физически связана с остальными двумя, о чем свидетельствует соединяющее все три галактики волокно, также 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*.

*Здесь и в дальнейшем мы исходим из значения постоянной Хаббла $H = 180 \text{ км/сек}$ на мегапарсек, полученной в работе Хьюмаса, Мейола и Сендеджа

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

е) Встречается ряд тесных двойных галактик, где очень трудно считать систему оптической и, тем не менее, разность лучевых скоростей очень велика. Примером может служить пара NGC 2831 и NGC 2832, в которой расстояние между компонентами меньше 30", что соответствует в проекции менее чем 4000 парсек, тогда как разность лучевых скоростей примерно 1800 км/сек [14]. Однако рассматриваемая пара находится в скоплении галактик, где вероятность проектирования может быть сравнительно большой, а разности лучевых скоростей членов иногда достигают 2000 км/сек и более. Тем не менее, удивительно, что как раз две столь близко проектирующиеся галактики обладают столь большой разностью скоростей.

Перечисленные факты трудно объяснить, основываясь на допущении, что в каждой физической кратной системе все компоненты удерживаются благодаря силе притяжения.

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

§ 6. 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: $M = \frac{2v^2R}{G}$,

где v^2 — средний квадрат скорости, отнесенной к центру масс скопления, а R — радиус скопления. Применение теоремы вириала обосновано только в отношении стационарных скоплений, обладающих отрицательной энергией.

[14]. Согласно работе Сецледжа, доложенной на Сольвейской конференции 1958 года, $H = 75$ км/сек на мегапарсек.

Однако мы не сочли необходимым изменить цифры, данные в тексте, поскольку основные выводы настоящей статьи сохраняют свою силу независимо от принятия или непринятия нового значения H .

Известно, с другой стороны, что применение приведенной формулы к скоплениям галактик приводит к таким значениям их массы, которые ни в коей мере не соответствуют тем нашим представлениям о массах отдельных галактик, которые получаются 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, массой порядка M_{\odot} 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 Сота. 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 значение 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.

§ 7. *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 опять 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 [15], достигает 3000 км/сек.

В случае радиогалактики Лебедь А мы непосредственно наблюдаем два ядра внутри одной галактики. Мы не имеем данных, относящихся к скорости относительного движения этих ядер, однако очевидно, что они не могут быть неподвижными относительно друг друга. Наряду с радиоизлучением огромной интенсивности, галактика Лебедь А излучает эмиссионные линии очень высокой интенсивности, причем эти линии имеют значительную ширину. Все это свидетельствует об интенсивных движениях и процессах возбуждения в этой галактике.

Таким образом, вторая из высказанных выше гипотез находится в грубом соответствии с данными о радиогалактиках Лебедь А и Персей А. Конечно, такое соответствие еще не является окончательным подтверждением второй гипотезы. Последняя требует дальнейшего сравнения с наблюдениями.

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 [16], 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. В дальнейшем мы остановимся подробнее лишь на второй гипотезе, т. е. на предполагаемом делении ядер галактик.

Необходимо отметить, что открытие радиогалактик дало повод к выдвиганию 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. В этом отношении следует обратить внимание также и на то, что радиогалактика Персей А является наиболее ярким объектом скопления в Персее, занимающим в этом скоплении центральное положение. Примерно такова же роль галактики Лебедь А в окружающем его скоплении галактик.

В этой связи следует еще раз обратить внимание на тесную двойную галактику NGC 2831 — 2832, о которой говорилось выше. По крайней мере, в проекции это — пара взаимопроникающих галактик с угловым расстоянием между центрами менее $30''$. Как указывалось, разность лучевых скоростей этой пары доходит до 1800 км/сек . Интересно, что эта пара занимает центральное положение в окружающем ее скоплении и обладает светимостью, намного превышающей светимость любого из остальных членов скопления. Яркий компонент является сверхгигантом с абсолютной фотографической величиной около $-19,5$. Эти особенности говорят о глубоком сходстве этой пары с NGC 1275, где разность скоростей достигает 3000 км/сек .

В случае NGC 2831—2832 мы имеем дело с парой, в которой процесс оформления отдельных галактик вполне закончился. Интенсивная радиоэмиссия не наблюдается.

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

§ 8. Радиогалактика Дева А = NGC 4486 — М 87. Эта радиогалактика имеет в оптических лучах две особенности строения, которые ее выделяют среди других эллиптических галактик: 1) наличие струи со сгущениями, которые испускают поляризованное излучение и 2) наличие очень большого количества шаровых скоплений [17].

Тот факт, что струя исходит из центра, не оставляет сомнений 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, находящееся в том же состоянии, что и вещество Крабовидной туманности. Иными словами, в этих сгущениях можно предполагать значительное количество электронов высокой энергии.

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 объеме сгущений. Поэтому, надо думать, что в самих этих сгущениях сосредоточены источники, испускающие электроны высокой энергии. Наблюдения над объектами нашей Галактики показывают, что мощными источниками электронов высокой энергии являются различные нестационарные объекты (Сверхновые, звезды типа Т Тельца и прочие). Поэтому весьма вероятно наличие в рассматриваемых сгущениях большого числа подобных нестационарных объектов.

Таким образом, мы как будто приходим к пониманию природы рассматриваемых сгущений. Они являются *конгломератами облаков релятивистских электронов, газовых облаков и нестационарных звезд*. Вряд ли подобного рода конгломераты существуют в ядрах галактик. Поэтому приходится сделать заключение, что выброшенная из ядра материя в короткий срок превратилась в подобные конгломераты. Эмиссионная линия λ 3727, наблюдаемая в области ядра NGC 4486, дает, по-видимому, представление о скорости выбросов из ядра. Отсюда можно оценить и порядок сроков, в течение которых могут происходить подобные превращения. Они оказываются порядка $3 \cdot 10^6$ лет.

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.

§ 9. Голубые выбросы из ядер эллиптических галактик. Галактика NGC 4486 не является единственной галактикой, в которой мы наблюдаем выброс вещества из ядра [18]. Мы обрати-

ли внимание на некоторые другие подобные случаи. Особенно интересен случай галактики NGC 3561a. Эта галактика имеет сферическую форму и истечение в виде струи. Струя заканчивается сгущением, довольно ярким на синем снимке и почти незаметным на красном. Показатель цвета сгущения в интернациональной системе оказывается равным — 0,5. Расстояние галактики NGC 3561a нам не известно. Однако 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. Это означает, что рассматриваемое голубое сгущение не является О-ассоциацией или даже наложением нескольких О-ассоциаций. По своей абсолютной величине этот выброс представляет собой по существу карликовую галактику, по-видимому, отделившуюся от ядра гигантской галактики. Необычное значение показателя цвета свидетельствует о том, что состав населения этого выброса весьма своеобразен. Не исключена возможность, что его голубой цвет объясняется наличием коротковолновой непрерывной эмиссии. Несомненно, что галактика NGC 3561a заслуживает дальнейшего изучения.

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 отдаленного 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.

§ 10. *Перемычки и волокна, связывающие галактики.* Большой заслугой Цвикки [13] является то, что он обратил внимание на существование двойных и тройных галактик, компоненты которых связаны между собой волокнами или перемычками различной толщины. При этом Цвикки считает вероятным, что эти перемычки образовались в результате приливного взаимодействия, происшедшего вследствие сближения двух галактик. 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 узлокализированной 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 случаях скорости взаимного удаления должны быть по порядку величины не больше 200 км/сек. Это видно из того, что, например, в системе Кинена разность лучевых скоростей равна 22 км/сек. С другой стороны, дисперсия звездных скоростей в каком-нибудь объеме галактики должна быть порядка 30 км/сек. Отсюда следует, что ширина струн на ее конце должна быть порядка одной шестой длины струи. Между тем в той же системе Кинена ширина струи во много раз меньше.

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 собою 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 уже значительно удалившиеся друг от друга галактики.

Если волокна, связывающие между собой, например, пару спиральных галактик, возникают в процессе разделения единого первоначального ядра, то можно сказать, что и спиральная структура образовавшихся галактик должна быть тесно связана с процессом разделения. Следует думать, что связь двойственности со спиральной структурой должна иметь место и в тех случаях, когда один из компонентов не является спиральной галактикой, а принадлежит какому-нибудь другому типу (смотреть, например, § 11).

Наконец, заметим, что хотя во многих случаях возникновение спиральной структуры мы приписываем двойственности (или кратности) галактики, это не дает возможности утверждать без дальнейшего исследования, что все спиральные структуры возникли в результате такого разделения.

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.

§ 11. *Галактики типа М 51.* Наличие в спиральной галактике М 51 спутника NGC 5195, находящегося на конце спиральной ветви, всегда казалось нам сильным доводом в пользу высказанного в предыдущем параграфе 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. Однако было желательно найти другой случай, когда связь между спиральной структурой и наличием спутника является еще более убедительной. Такой 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. Конечно, фотографии большего масштаба смогут дать более точное представление о всей картине

явления и уточнить отдельные детали. Однако факт связи между эллиптическим спутником и рукавом не оставляет никаких сомнений.

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 [27], 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. В случае М 51 это расстояние порядка всего трех тысяч парсек. Когда же расстояние между компонентами увеличивается, соединяющая переемычка становится значительно тоньше.

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

§ 12. *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. Таким образом, между обычными сгущениями в рукавах и галактиками-спутниками нет резкой границы.

NGC 4861, NGC 2366 и другие могут служить примерами галактик, содержащих весьма яркие и большие сгущения. Галактика IC 1613, являющаяся членом локальной группы, имеет, как известно, на своей периферии образование, состоящее из целой совокупности O-ассоциаций. Это образование является своего рода сверхассоциацией.

Такая же сверхассоциация, представляющая собой целое созвездие O-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 параграфе, являются в известной степени аналогами спутника М 51, но уже состоящими из край-

него 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).

§ 13. *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 находящиеся в центре галактики [19]. В прошлом году доктор Бааде любезно показал мне снимок ядра галактики М 31. Это действительно удивительное образование, имеющее необычайно высокую поверхностную яркость. К несчастью, даже у сравнительно близких галактик мы не можем выделить ядро из центрального тела звездной системы. Это связано с ограниченной разрешающей силой наших телескопов.

Выше мы пришли к выводу, что ядра могут делиться, а также выбрасывать спиральные рукава и радиальные струи, содержащие в себе сгущения. Однако спонтанное 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/сек. Мощность истечения такова, что за промежутки времени по-

рядка 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. Чтобы составить правильное представление о происходящих трудностях, следует учесть, что спиральные рукава галактик содержат большие массы водорода и что, независимо от какой-либо гипотезы, имеет место определенная генетическая связь между рукавами и центральными ядрами.

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 квазистойчивое 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. Превращения этого последнего типа мы и наблюдаем, вероятно, в нашей Галактике, как явление возникновения звезд и туманностей в звездных ассоциациях. Это относится как к O -, так и к T -ассоциациям.

Эта точка зрения может вызвать возражения, в частности могут указать, что в настоящее время трудно предложить физическую модель массивного тела с описанными выше особенностями. Даже, если мы не станем сразу пытаться непосредственно понять конкретный механизм деления массивного тела, расположенного в ядре, тем не менее, могут возникнуть трудности в связи с требованиями различных законов сохранения и, в частности, сохранения вращательного момента. С другой стороны, возможно, что рассмотрение процесса совместного возникновения

двух и более звездных систем может оказаться полезным для преодоления этих трудностей.

В заключение этого параграфа мы хотим подчеркнуть, что прежде чем начать строить теории возникновения галактик, было бы весьма полезно определить из наблюдений характер процессов, ведущих к образованию новых звездных систем. Только после этого должна ставиться проблема теоретического истолкования наблюдаемых процессов.

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.

§ 14. *О повторении процессов возникновения компонент 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, повторился 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 космогонической 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 раз-

§ 15. *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 O-ассоциациями, обычно делают вывод о возникновении молодых звезд из межзвездного газа.

Однако нам кажется, что параллелизм между присутствием межзвездного газа и наличием O-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:

1. Ассоциация, в которой находится двойное скопление в Персее, расположено 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.

2. Плотность межзвездного газа в Малом Магеллановом Облаке не меньше, а, пожалуй, больше, чем соответствующая плотность в Большом Магеллановом Облаке [20]. 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 O-ассоциаций в Малом Облаке. Но они беднее звездами высокой светимости, чем большинство ассоциаций Большого Облака.

3. Наблюдения показывают, что распределение нейтрального водо-

рода в Галактике гораздо лучше коррелируется 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.

4. 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 протозвезд, 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.

В ы в о д . Факты, относящиеся к межзвездному газу и ассоциациям, свидетельствуют скорее о совместном возникновении звезд и газа из протозвезд, чем о возникновении звезд из газа.

§ 16. *О происхождении населения II типа.* Согласно представлениям, развитым в работах Бааде, Шварцшильда и Хойла, звезды, принадлежащие к населению II типа, являются «старыми» звездами, возникшими примерно 6 миллиардов лет тому назад. Согласно этой точке зрения, эти звезды не могут возникать непосредственно из дозвездного вещества (независимо от природы последнего). Они являются результатом развития звезд, когда-то имевших те же, или почти те же, свойства, что и наблюдаемое ныне население I типа.

С другой стороны, Кукаркиным [27] настойчиво выдвигался другой взгляд, согласно которому среди населения II типа должны встречаться не только старые, но и молодые звезды, отличные по своей природе от звезд населения I типа.

Нам кажется, что эта дилемма является фундаментальной как для теории звездной эволюции, так и для проблемы эволюции галактик. Поэтому на этом вопросе необходимо остановиться подробнее.

В свое время мы указывали [21], что огромное различие в законах распределения скоростей звездных населений I и II типа делает невозможным предположение об эволюционных переходах из одного типа в

другой. Действительно, изменения в законе распределения скоростей звезд, происходящие под влиянием их взаимных сближений, требуют сроков порядка 10^{13} лет и больше, т. е. промежутков времени, во много раз превосходящих возраст наблюдаемых звезд и галактик. Однако Спицер и Шварцшильд показали, что, если допустить существование в Галактике достаточного числа массивных тел (например, комплексов диффузных облаков с массами порядка 10^5 — 10^6 масс Солнца), промежутков времени, необходимый для заметных изменений в распределении скоростей звезд, уменьшается до величины порядка 10^9 — 10^{10} лет [22]. Спицер и Шварцшильд считают, что именно этот механизм действует в нашей Галактике. Однако оказывается, что и при таком допущении столь большое изменение, как превращение какой-либо плоской подсистемы в сферическую подсистему, требует сроков, намного превышающих среднюю продолжительность жизни звезд.

Поэтому можно считать, что звездное население II типа, т. е. население сферических подсистем, возникло с таким же, примерно, начальным распределением скоростей, какое оно имеет сейчас.

Такое заключение само по себе не противоречит допущению, что в начальной стадии своего развития эти звезды по своему физическому строению могли быть сходны со звездами населения I типа. Однако могут быть приведены серьезные факты, свидетельствующие о возрастных различиях среди звезд населения II типа и, в частности, о наличии среди них сравнительно молодых звезд. Так, согласно Переку [23], среди населения II типа мы имеем некоторое количество объектов, галактические орбиты которых являются «гиперболическими». В числе этих объектов имеются типичные представители населения II типа, в том числе шаровое скопление NGC 5694. Исходя из того, что энергия орбитального движения звезд практически не подвергается существенным изменениям, мы должны заключить, что эти объекты образовались в нашей Галактике недавно (порядка 10^8 лет тому назад).

Правда, возможно и другое объяснение, согласно которому все объекты, движущиеся по «гиперболическим» орбитам, пришли к нам из других галактик. Но это прежде всего означает, что в каких-то других галактиках возникает очень большое количество «гиперболических» объектов. Тем самым не отрицается принципиальная возможность появления таких объектов и в нашей Галактике. С другой стороны, не может быть сомнений в том, что звезда АЕ Возничего, также обладающая «гиперболической» скоростью, возникла в нашей Галактике.

Наконец, мы имеем данные о населении тех шаровых скоплений, которые находятся от нас на расстоянии более 100 000 парсек и которые, поэтому, действительно являются беглецами из нашей Галактики или из других галактик. Их население отличается от населения более близких

шаровых скоплений [26] и, в частности, от NGC 5694. Поэтому было бы весьма искусственным допущением считать, что NGC 5694 и другие гиперболические объекты являются выходцами из других галактик. Следовательно, мы должны допустить, что они являются молодыми объектами среди населения II типа.

С другой стороны, можно утверждать, что имеются некоторые стадии развития, которые присущи звездам сферических подсистем, но не свойственны населению плоских подсистем (диска). Так, например, звезды типа RR Лиры являются такой стадией, через которую проходит довольно значительная часть населения II типа. Если бы через ту же стадию проходила бы значительная часть населения I типа, то, наряду со сферической подсистемой звезд типа RR Лиры, мы наблюдали бы богатую плоскую подсистему этих переменных звезд.

Все сказанное заставляет думать о двух различных путях развития звезд плоских и сферических подсистем.

Отрицая возможность существования молодых звезд среди населения II типа, иногда приводят и тот аргумент, что среди населения II типа нет достаточно массивных туманностей, чтобы из них могли образоваться молодые звезды. Однако этот аргумент может считаться существенным только до тех пор, пока предполагается, что звезды возникают из туманностей. Как мы указывали выше, следует считать вероятной другую точку зрения, согласно которой и звезды, и туманности возникают совместно из более плотных образований. В таком случае особенностью звезд населения II типа должно являться то, что туманности, возникающие вместе с ними, обладают относительно малой массой, вследствие чего мы не наблюдаем массивных туманностей на больших расстояниях от плоскости Галактики.

Сейчас трудно указать, какие именно из наблюдаемых различных стадий развития звезд населения II типа являются начальными, непосредственно следующими за процессом звездообразования. Нам кажется, что сведения в этом отношении скорее всего могут быть получены путем изучения шаровых скоплений, составляющих крайний пример населения II типа.

Согласно фон Хернеру [25], наблюдаемые лучевые скорости шаровых скоплений могут быть удовлетворительно объяснены на основе гипотезы о движении их в Галактике по прямолинейным или очень вытянутым орбитам. Если эти орбиты действительно таковы, то нужно считать, что шаровые скопления были выброшены из центрального ядра Галактики. Допущение, что столь плотные образования, как шаровые скопления, возникают в самой плотной области Галактики, кажется совершенно естественным. Но тогда мы приходим к идее о возможности группового возникновения звезд и среди населения II типа. Возможно, далее,

что все остальное население этого типа, не входящее в шаровые скопления, также возникло в каких-то группах, которые, в отличие от наблюдаемых шаровых скоплений, обладали положительной полной энергией. Однако, за отсутствием наблюдательных данных по этому вопросу, вряд ли имеет смысл развивать дальше это предположение. Все сказанное свидетельствует о том, что *образование звезд сферических подсистем идет независимо от образования звезд плоских подсистем.*

§ 17. *О двойных спиралях.* Выше мы приняли, что возникновение спиральных рукавов часто бывает связано с формированием двойной галактики. Тогда возникает следующая возможность проверки гипотезы о разделении первоначального ядра. Поскольку первоначальное ядро небольшого объема не могло иметь вращательного момента, равного по порядку величины большим вращательным моментам наблюдаемых спиральных галактик, то в случае возникновения двух спиральных систем сумма вращательных моментов должна была продолжать оставаться малой. Это условие может быть легко удовлетворено в случае, если вращательные моменты образовавшихся спиралей направлены в противоположные стороны. В таком случае следует ожидать, что направление закручивания спиралей в такой паре должно быть противоположным, т. е. угол между этими направлениями должен быть близок к 180° .

При проверке этого вывода следует иметь в виду четыре обстоятельства: 1. Пара спиралей должна быть изолирована. Если совместно возникли три тела, то момент, полученный третьим телом, мог бы компенсировать общий момент рассматриваемой пары. 2. Мы должны быть уверены, что рассматриваемая пара является физической. 3. Если наклоны двух галактик к небесной сфере близки к 90° , то при небольшом отклонении действительного угла между моментами двух галактик от 180° нам может показаться, что спирали закручены в противоположные стороны. Поэтому такие пары не должны рассматриваться. 4. Направление спиральных рукавов должно быть выражено достаточно четко.

Было отобрано 20 пар сравнительно ярких спиралей на картах Паломарского атласа (которые нашей обсерваторией получены еще не полностью), по возможности удовлетворяющих указанным требованиям. Из этих 20 пар только три пары показали одинаковое направление спиральных рукавов. Как раз в этих случаях нельзя быть полностью уверенными, что все перечисленные выше требования соблюдаются. С другой стороны, среди остальных семнадцати случаев имеется несколько пар, относительно которых можно утверждать, что эти требования соблюдаются с большой строгостью. К ним относятся NGC 2207—IC 2163, NGC 4618—4625 и NGC 5394—5395. Таким образом, мы не можем еще окончательно сказать, соблюдается ли правило противоположности на-

правлений спиральных рукавов в изолированных парах всегда или только в большинстве случаев. Несомненно, однако, что в каком-то смысле это правило имеет место. Указанную выше изолированность пары следует понимать в том смысле, что находящиеся в окрестностях рассматриваемых спиралей другие галактики имеют весьма небольшие массы по сравнению с ними. Интересно, что в этом смысле галактики М 31 и М 33 также могут рассматриваться как изолированная пара. Является фактом, что они показывают противоположное направление спиральных рукавов.

Если же не ограничиваться изолированными парами, то можно остановиться на случаях, когда в группе встречаются две галактики, связанные между собой мостом. В тройной системе Уилда каждые две связанные мостом галактики показывают противоположное направление рукавов. В известном скоплении галактик в Геркулесе замечательная пара сросшихся между собой близнецов-спиралей удовлетворяет тому же правилу. Нам кажется, что этот вопрос заслуживает внимательного исследования.

Вывод. У большинства физических пар спиральных галактик направление рукавов компонент является противоположным.

Бюраканская астрофизическая обсерватория
АН Армянской ССР

Поступило 15.VII 1958

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. А. Амбарцумян, Ученые записки ЛГУ, № 22, Серия математических наук (астрономия), вып. 4, 19—22, 1938.
2. В. А. Амбарцумян, Астрономический журнал, **14**, 207—219, 1937.
3. В. А. Амбарцумян, Эволюция звезд и астрофизика, Ереван, 1947.
4. В. А. Амбарцумян, Астрономический журнал, **26**, 3, 1949; A. Blaauw, VAN, **11**, 405, 1952.
5. F. Zwicky, PASP, **50**, 218, 1938; **64**, 247, 1952.
6. J. Neuman, E. L. Scott and C. D. Shane, Ap. J., **117**, 92, 1953.
7. В. А. Амбарцумян, ДАН Армянской ССР, **13**, 129, 1951; Сообщения Бюраканской обсерватории, № 15, 1954.
8. E. Holmberg, Annals of the Lund Observatory, № 6, 1937.
9. В. А. Амбарцумян, Известия АН Армянской ССР, серия физико-математических наук, **9**, 23, 1956.
10. C. Seyfert, PASP, **63**, 72, 1951
11. E. Holmberg, Meddelande Lund Observatory, Ser. II, № 136, 1958.
12. Cuido Münch A. J. **62**, 28, 1957; Report of the Director, Mount Wilson and Palomar Observatories, 1955—1956, p. 49.
13. F. Zwicky, Ergebnisse d. exakt. Naturwissenschaften, Bd. **29**, 344, 1956.
14. M. L. Humason, N. U. Mayall and A. R. Sandage, A. J., **61**, 97, 1956.

15. R. Minkowski, Report to the Meeting of the AS Pacific, Pasadena, June 21, 22, 1955.
16. D. S. Heeschen, *Ap. J.*, **124**, 660, 1956; *PASP*, **69**, 350, 1957.
17. W. Baade and R. Minkowski, *Ap. J.*, **119**, 215, 1954.
18. В. А. Амбарцумян и Р. К. Шахбазян, *ДАН Армянской ССР*, **25**, 185, 1957.
19. W. Baade, *IAU Symposium № 5*, p. 1. Cambridge, 1958.
20. W. Buscombe, C. C. B. Gascoigne and G. Vaucoeurs, *Problems of the Magellanic Clouds*, *Austr. Journal of Sc. Supplement*, 1955.
21. V. Ambarzumian, On the mean life-time of the cluster type variables, *Observatory*, **58**, № 732, 152, 1935.
22. L. Spitzer and M. Schwarzschild, *Ap. J.*, **114**, 385, 1951.
23. Perek, *АН*, **283**, 213, 1956.
24. Б. А. Воронцов-Вельяминов, *Астрономический журнал*, **34**, 8, 1957.
25. C. V. Hoerner, *Zs. für Astrophysik*, **35**, 255, 1954.
26. C. R. Burbidge and E. M. Burbidge, *Handbuch der Physik*, Bd, **51** (в печати).
27. Б. В. Кукаркин, *Исследование строения и развития звездных систем*, М.—Л., 1949.

ЗВЕЗДНЫЕ КОНФИГУРАЦИИ

О ВЫРОЖДЕННОМ СВЕРХПЛОТНОМ ГАЗЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ*

Рассмотрен состав вырожденного газа при плотностях порядка ядерных и выше. Предполагается, что температура настолько низка, что все виды фермионов вырождены. Показано, что при возрастании плотности в газе должны последовательно появиться и возрастать в числе различные гипероны. Они должны быть стабильны, что обеспечивается принципом Паули. Вычислены пороговые плотности различных гиперонов. Парадоксальным образом наименьшая пороговая плотность соответствует не Λ -гиперону, обладающему наименьшей массой покоя, а $\Sigma^- \sim$ гиперону.

В соответствии с этим конфигурация гравитационного равновесия вырожденной космической массы при некоторых значениях массы должна состоять из гиперонного ядра, нейтронного слоя и наружной оболочки, имеющей обычный состав (электроны, протоны и составные ядра).

§ 1. *Введение.* За последнее время в астрофизике все большее значение придается различным схемам звездной эволюции. Делаются многочисленные попытки связать между собою с помощью эволюционных схем наблюдаемые различные состояния звезд. В некоторых работах эволюционные схемы распространяются на целые галактики.

Основной особенностью большинства предложенных схем происхождения и развития звезд и галактик является то, что авторы исходят из некоторого первоначального гипотетического состояния, когда вещество звезд (или галактик) было разреженным газом. Предполагается, что звезды возникают путем сгущения этого разреженного газа, причем на всех начальных этапах развития вещество звезды остается классическим идеальным газом.

Однако анализ большого наблюдательного материала, относящегося к молодым звездам, а также к галактикам, приводит к заключению, что в процессе возникновения звездных групп и галактик развитие идет от более плотных дозвездных тел к менее плотным состояниям. Иными словами, из весьма плотных дозвездных тел возникают более или менее многочисленные группы звезд и вместе с ними большие массы рассеянного

* Астр. журн., **37**, 193, 1960, Соавтор Г. С. Саакян.

межзвездного вещества. Таким образом, возникает противоположное представление, согласно которому обычному звездному и диффузному состоянию вещества предшествует некоторое сверхплотное состояние.

Аргументами в пользу сверхплотного начального состояния вещества могут служить три группы фактов.

Первая группа фактов относится к галактикам и к группам галактик. Эти фактические данные проанализированы в [1]. Нам кажется, что именно в мире галактик мы имеем больше всего прямых указаний на то, что развитие идет от более плотных масс к разреженным. Как было упомянуто в [1], 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.

Другая группа фактов относится к возникновению звездных групп, составляющих звездные ассоциации. Наличие в ассоциациях и, в частности, в центральных областях больших газовых туманностей, входящих в О-ассоциации, тесных звездных групп и систем типа Трапедии, как указывалось в [2], свидетельствует против представлений об образовании звезд ассоциаций из диффузных туманностей. Свойства систем типа Трапедии свидетельствуют о том, что они возникли путем деления какого-то массивного и весьма плотного тела.

Явление вспышек в звездах типа UV Кита, а также у многих членов Т-ассоциаций следует интерпретировать, как процессы освобождения энергии, выносимой большими, но дискретными порциями из глубоких недр звезд. Возникает естественное предположение, что из центральных областей наружу извергаются массы дозвездного вещества, еще сохранившегося во внутренних частях звезды. В таком случае энергию вспышек можно истолковать как энергию перехода вещества из дозвездной фазы в обычную звездную [3].

Конечно, нельзя утверждать, что во всех случаях, упомянутых выше, начальное состояние одно и то же. Вполне возможно, что дозвездные тела, дающие начало целым галактикам, сильно отличаются от дозвездных тел, из которых возникают звездные ассоциации или простые системы типа Трапедии. Более того, мы отдаем себе отчет, что аргументация в пользу существования весьма плотных дозвездных состояний вещества не является все же абсолютно убедительной и окончательной. Однако она достаточно сильна, чтобы заставить нас детально изучить возможность пребывания масс, имеющих космические масштабы в сверхплотных состоя-

ниях, в частности в состояниях ядерной или более высокой плотности, и выяснить свойства вещества в этих состояниях.

К выводу о возможном существовании сверхплотных конфигураций нейтронных звезд пришел в свое время Цвикки [4, 5], стремившийся объяснить явление вспышек Сверхновых. Соответствующая теоретическая модель была разработана Опенгеймером и Волковым [6]. Вместе с тем, следует отметить, что еще задолго до этого Л. Ландау [7] сделал предположение о возможности сверхплотных ядер у массивных звезд.

Следует думать, что сверхплотные конфигурации, вообще говоря, должны обладать весьма сложными свойствами. Поэтому целесообразно в первую очередь рассмотреть те конфигурации, при которых абсолютная температура близка к нулю, точнее, те конфигурации, где температура настолько низка, что фермионы всех типов в любой точке звезды составляют вырожденный газ. Вместе с тем, целесообразно исследовать наряду с устойчивыми и строго равновесными состояниями возможность существования метастабильных состояний, которым соответствует более высокое значение энергии звезды. Это даст возможность уже на первом этапе теории пытаться рассмотреть процессы освобождения энергии при переходе из метастабильного состояния в стабильное.

Существенным свойством сверхплотных конфигураций, как это следует из дальнейшего, должно являться наличие в звезде, наряду с нейтронами, *гиперонов*. Поскольку при достаточно низких температурах нуклонный (протонный + нейтронный) газ будет сильно вырожден, гипероны, обладающие энергией, меньшей некоторой граничной, станут стабильными, так как возникающие при их эвентуальном распаде нуклоны, из-за принципа Паули, не могут себе найти место в фазовом пространстве. По той же причине взаимные превращения гиперонов разных родов также невозможны. Существующие гипероны должны, в свою очередь, образовать вырожденный газ. В следующем параграфе мы рассмотрим свойства нейтронно-гиперонного, или, короче говоря, *барионного газа* при $T = 0$.

§ 2. *Барионный газ*. Рассмотрим состояние звездной материи при плотностях порядка плотности ядерной материи и больше и при температуре $T = 0$. В таких физических условиях очевидно, что нуклонный и электронный газы будут полностью вырожденными. При плотностях выше определенного значения граничные энергии Ферми для нуклонов и электронов становятся настолько большими, что оказывается энергетически более выгодным, чтобы некоторая часть материи перешла из нуклонного состояния в гиперонное.

При интересующих нас физических условиях в состоянии равновесия, строго говоря, безразлично, какие из рассмотренных нами элементарных частиц являются исходными и какие вторичными, т. е. возникшими из ис-

ходных. Тем не менее, ради удобства в этом параграфе в качестве исходных частиц мы будем рассматривать нуклоны, из которых, благодаря определенным процессам, в конечном счете могут рождаться гипероны.

Нас пока не интересует, благодаря какому конкретному процессу возникло изучаемое сверхплотное состояние вещества. Вполне возможно считать, что данное сверхплотное состояние образовалось из еще более плотного. В таком случае должен был идти процесс превращения более тяжелых барионов в более легкие. Можно представить себе (хотя мы это считаем мало вероятным) и противоположный процесс образования сверхплотного вещества из менее плотного. В таком случае часть нуклонов должна была превратиться в гипероны. При этом, если в первом случае, когда идет превращение тяжелых барионов в более легкие, процесс может осуществляться различными путями (испускание π -мезонов, или лептонные переходы), во втором случае, при сохранении низкой температуры, превращения должны происходить почти исключительно путем лептонных переходов.

Говоря о лептонных превращениях барионов, мы имеем в виду следующие элементарные процессы [8, 9].

$$\begin{array}{ll}
 n \rightarrow p + e^{-} + \bar{\nu}; & p + e^{-} \rightarrow n + \nu \\
 \Lambda \rightarrow p + e^{-} + \bar{\nu}; & p + e^{-} \rightarrow \Lambda + \nu \\
 \Sigma^0 \rightarrow p + e^{-} + \bar{\nu}; & p + e^{-} \rightarrow \Sigma^0 + \nu \\
 \Sigma^{-} \rightarrow n + e^{-} + \bar{\nu}; & n + e^{-} \rightarrow \Sigma^{-} + \nu \\
 \Xi^{-} \rightarrow \Lambda + e^{-} + \bar{\nu}; & \Lambda + e^{-} \rightarrow \Xi^{-} + \nu \\
 \Xi^{-} \rightarrow \Sigma^0 + e^{-} + \bar{\nu}; & \Sigma^0 + e^{-} \rightarrow \Xi^{-} + \nu,
 \end{array} \tag{2.1}$$

где символы n , p , Λ , Σ , Ξ , e^{-} , ν и $\bar{\nu}$ соответственно означают нейтрон, протон, Λ -, Σ -, Ξ -гиперон, электрон, нейтрино и антинейтрино.

Если же образование сверхплотного вещества из менее плотного могло идти при крайне высоких температурах порядка 10^{10} градусов с последующим остыванием, то в процессах образования гиперонов могли также принять участие π -мезоны.

Повторяем, однако, что в данной работе нас не интересует история возникновения сверхплотных состояний. Однако, с целью определения относительных концентраций разных частиц в зависимости от плотности, мы используем приведенную выше таблицу элементарных процессов для написания в соответствии с этими процессами уравнений между химиче-

скими потенциалами элементарных частиц. Эти уравнения при $T = 0$ могут быть написаны в форме:

$$\begin{aligned}\mu_{\Sigma^0} &= \mu_{\Sigma^+} = \mu_{\Lambda} = \mu_n \\ \mu_{\Sigma^+} &= \mu_p = \mu_n - \mu_e \\ \mu_{\Sigma^-} &= \mu_{\Sigma^0} = \mu_n + \mu_e,\end{aligned}\tag{2.2}$$

где μ с индексами — химические потенциалы, или, выражаясь другим языком, граничные энергии соответствующих частиц. В (2.2) предположено, что химический потенциал нейтрино равен нулю. Равенство нулю химического потенциала нейтрино обусловлено отсутствием этих частиц в объеме звезды*; действительно, после их образования эти частицы сразу же должны покинуть звезду, почти не испытывая каких-либо взаимодействий (поперечное сечение взаимодействия нейтрино с электронами порядка 10^{-44} см² [10]). Смысл сделанного утверждения относительно химического потенциала нейтрино становится очевидным, если мы обратимся к формуле (2.4), справедливой для любой частицы при $T = 0$ и подчиняющейся статистике Ферми.

Граничный импульс фермионов равен

$$p_k = (3\pi^2)^{1/3} \hbar N_k^{1/3},\tag{2.3}$$

где индекс $k = e, n, \Lambda$ и т. д. означает род частиц, \hbar — постоянная Планка, деленная на 2π , и N_k — число частиц данного сорта в единице объема. А химический потенциал частиц равен их граничной энергии Ферми

$$\mu_k = c [M_k^2 c^2 + (3\pi^2)^{2/3} \hbar^2 N_k^{2/3}]^{1/2},\tag{2.4}$$

Уравнения (2.2) и (2.4) вместе с условием нейтральности полностью определяют концентрации разных частиц N_k , как функцию от концентрации нейтронов N_n . Но, прежде чем определить эти концентрации, мы хотели бы дать другой вывод полученных в этом параграфе уравнений.

§ 3. *Концентрации различных частиц в сильно вырожденном барионном газе.* В предыдущем параграфе вопрос о величинах концентраций различных компонентов вещества при $T = 0$ и очень больших плотностях материи решался, исходя из возможности определенных реакций между элементарными частицами. Однако очевидно, что результат не должен зависеть от конкретных видов взаимодействий и от вероятностей тех или иных элементарных превращений.

* Если нейтрино имеет отличную от нуля, но малую массу, то некоторое количество этих частиц может все же присутствовать в звезде. Однако малая масса пока приводит к тому, что их количество ничтожно и их можно не учитывать.

Поэтому целесообразно дать вывод уравнений, определяющих концентрации разного рода барионов при $T = 0$, который исходил бы из некоторых общих принципов. В качестве таких общих принципов естественно выдвинуть следующие три:

1. *В состоянии равновесия энергия системы должна быть минимальной.*
2. *Во всех мыслимых процессах, приводящих к установлению состояния статистического равновесия между различными компонентами материи, число барионов не должно изменяться.*

Как известно, существует также закон сохранения лептонов при элементарных процессах. Однако в условиях, когда возникающие нейтрино и антинейтрино могут сравнительно свободно покидать объем звезды, число лептонов в данном объеме не может считаться заданным. В этом случае число лептонов становится определенным и притом в статистическом смысле, лишь в результате установления состояния термодинамического равновесия, причем параметром, определяющим полное число лептонов, будет задаваемое полное число барионов.

3. *Как звезда в целом, так и отдельные ее макроскопические объемы должны быть нейтральными.*

Пользуясь этими исходными положениями, мы можем определить концентрации разных возможных компонентов материи при очень больших плотностях и абсолютном нуле. При интересующих нас физических условиях возможными компонентами материи могут быть электроны, μ^- и π^- мезоны, протоны, нейтроны, Λ , Σ^0 , Σ^+ , Σ^- , Ξ^- , Ξ^0 гипероны, а также возбужденные нуклоны p^* и n^* . Под возбужденным нуклоном мы подразумеваем изобары протона и нейтрона с $\tau = 3/2$ и $j = 3/2$, где τ и j — соответственно изотопический спин и момент количества движения в этих состояниях. Совсем недавно экспериментально установлено наличие еще двух других изобарных состояний нуклонов с более высокими энергиями возбуждения (вблизи 750 и 1000 Мев). Дальше мы будем говорить только о первых изобарах, так как для возбуждения более высоких изобарных состояний нуклонов потребуются чрезвычайно высокие плотности материи.

Не исключена возможность существования возбужденных состояний и у известных гиперонов. Однако, если даже такие состояния существуют, то для их возбуждения потребуются чрезвычайно большие плотности.

Наконец не исключена возможность, что в дальнейшем будут открыты еще более высокие гипероны, т. е. гипероны с массой, превосходящей Ξ^- гиперон. Но и их появление в вырожденном газе низкой температуры возможно будет только при исключительно больших плотностях. Следовательно при рассмотрении плотностей ниже некоторого предела их можно не принимать во внимание. Что касается других, известных в на-

стоящее время элементарных частиц, а именно: позитронов, фотонов, нейтрино, μ^+ , π^+ , π^0 и K -мезонов, то при температуре, равной нулю, все перечисленные частицы должны отсутствовать, так как нет причин, препятствующих их распаду или аннигиляции. Иначе обстоит дело с гиперонами, возбужденными нуклонами и μ^- , π^- мезонами. Вследствие полного вырождения электронного и нуклонного газов ($T = 0$) и действия принципа Паули, эти нестабильные частицы становятся при больших плотностях вещества совершенно стабильными. Причиной этого является то, что продукты распада рассматриваемых частиц не могут найти себе свободного места в фазовом пространстве, поскольку оно сплошь заполнено до определенного граничного значения импульса. При этом для каждого вида нестабильных частиц имеется своя пороговая плотность, начиная с которой она становится стабильной. Все гипероны и изобары нуклонов также имеют полуцелый спин и поэтому образованные ими газы также будут сильно вырожденными, вследствие чего переходы между самими гиперонами будут запрещены. Стабильность π^- -мезонов обеспечивается наличием сильно вырожденного газа μ^- -мезонов.

Следует заметить, что априори нельзя утверждать, какие виды лептонов будут реально присутствовать при $T = 0$ и при данной концентрации барионов. Можно заранее сказать лишь одно, при каждой данной плотности, если присутствует один из видов лептонов, то сопряженный этому виду антилептон должен отсутствовать. Вычисления показывают, что с барионами должны присутствовать электроны (с антибарионами — позитроны). Следовательно позитроны должны отсутствовать. Что касается $\mu^- \sim \pi^-$ мезонов, то их наличие неизбежно обусловлено допущением присутствия электронного газа.

При рассматриваемых физических условиях (большие плотности материи, $T = 0$) особое положение занимают π^- -мезоны. Поскольку π^- -мезоны подчиняются статистике Бозе, все они будут находиться в состоянии с минимальной энергией, то есть будут неподвижными. Таким образом, они составляют крайне вырожденный Бозе-газ. Ниже будет показано, что при плотностях выше порога рождения π^- -мезонов концентрация этих частиц оказывается того же порядка, что и концентрация каждого из видов барионов. Вследствие этого температура вырождения π -мезонного газа оказывается весьма высокой.

Итак, энергия единицы объема среды равна

$$\rho = \frac{c}{2\pi^2 h^3} \sum_k a_k \int_0^{p_k} p^2 (M_k^2 c^2 + p^2)^{1/2} dp + N_\pi \cdot m_\pi c^2, \quad (3.1)$$

где p_k — граничный импульс Ферми для k -й частицы. Индекс k пробегает значения $e, \mu, p, p^*, n, n^*, \Lambda, \Sigma^0, \Sigma^+, \Sigma^-, \Xi^-$ и Ξ^0 соответственно для электронов, μ^- -мезонов, разных видов нуклонов и гиперонов, N_π — концентрация π^- -мезонов, a_k — постоянный множитель, учитывающий число возможных спиновых состояний частиц, $a_k = 2s + 1$, где s — спиновое квантовое число частиц. Для возбужденных нуклонов $s = 3/2$, следовательно $a_k = 4$, а для всех остальных частиц $s = 1/2$ и $a_k = 2$. Правда, для гиперонов значение $s = 1/2$ пока нельзя считать окончательно установленным. О первых попытках экспериментального подтверждения этого значения спина было сообщено на Киевской международной конференции физиков [9].

Для граничного импульса фермионов мы имеем:

$$p_k = \left(\frac{6\pi^2}{a_k} \right)^{1/3} h N_k^{1/3}. \quad (3.2)$$

Согласно первому принципу, при заданной плотности материи, концентрации ее различных компонентов N_k должны быть такими, чтобы энергия (3.1) была минимальной.

Для нахождения минимума энергии мы должны варьировать переменные N_k . Но прежде чем сделать это, необходимо учесть также второй и третий принципы, которые накладывают определенные ограничения на вариации переменных N_k . Так, с учетом (3.2) третий принцип сводится к следующему уравнению

$$p_p^3 + 2p_{p^*}^3 + p_{\Sigma^+}^3 - p_e^3 - p_{\Sigma^-}^3 - p_{\Xi^-}^3 - p_\mu^3 - 3\pi^2 h^3 N_\pi = 0, \quad (3.3)$$

а второй принцип можно записать в виде:

$$\frac{1}{2} \sum_k a_k p_k^3 = \text{const}, \quad (3.4)$$

где значение const при сферически-симметрическом распределении масс зависит только от r — расстояния от центра звезды. В (3.4) суммирование производится по всем барионам.

Итак, нам нужно определить минимум функции (3.1) при дополнительных условиях (3.3) и (3.4). Как известно, в этом случае задача сводится к нахождению минимума функции

$$\Phi = \frac{c}{2\pi^2 h^3} \sum_k a_k \int_0^{p_k} p^2 (M_k^2 c^2 + p^2)^{1/2} dp + N_\pi \cdot m_\pi c +$$

$$\begin{aligned}
 & + \alpha (p_p^3 + 2p_{p^*}^3 + p_{\Sigma^+}^3 - p_{\Sigma^-}^3 - p_{\Xi^-}^3 - p_e^3 - p_\mu^3 - 3\pi^2 h^3 N_\pi) + \\
 & + \beta (p_n^3 + 2p_{n^*}^3 + p_\Lambda^3 + p_{\Sigma^+}^3 + p_p^3 + 2p_{p^*}^3 + p_{\Sigma^+}^3 + p_{\Sigma^-}^3 + p_{\Xi^0}^3),
 \end{aligned} \quad (3.5)$$

где α и β — пока неопределенные параметры.

Приравнявая нулю первые производные функции Φ по концентрациям частиц N_k (или для удобства в случае фермионов можно дифференцировать по граничным импульсам p_k), мы находим необходимые условия минимума энергии распределения масс. Здесь, однако, следует обратить внимание на одну математическую тонкость, имеющую важное физическое следствие. Дело в том, что равенство производных Φ нулю является необходимым условием минимума функции лишь в том случае, когда этот минимум достигается при значениях каждой из переменных, находящихся *внутри* допустимого интервала их возможных значений. Если же наименьшее значение достигается при предельном значении той или иной переменной, то производная от Φ по этой переменной не должна быть обязательно равна нулю. Так, например, выше указывалось, что π^- -мезоны должны появляться лишь при очень высоких плотностях. При концентрациях барионов ниже порога рождения π^- -мезонов функция Φ должна иметь наименьшее значение при $N_\pi = 0$; между тем это условие не вытекает из равенства нулю производных функции Φ .

Поэтому мы должны быть осторожными и применять каждое из нижеследующих уравнений только тогда, когда убеждаемся, что при данной плотности барионов та переменная концентрация, дифференцированием по которой получено рассматриваемое уравнение, отлична от нуля. Этому будет соответствовать введенное дальше разделение всего интервала возможных значений концентраций барионов на отдельные подинтервалы, которые отличаются друг от друга составом элементарных частиц, и которые мы будем называть различными фазами.

Мы можем, конечно, для каждой фазы составить функцию Φ и далее найти ее минимум. Однако нам кажется целесообразным сначала же рассмотреть самую высокую фазу, когда в среде присутствуют выше перечисленные все частицы, то есть написать формулу (3.5). Далее, если мы из уравнений, выражающих условие равновесия между компонентами, опустим все параметры тех частиц, которых нет в интересующей нас фазе, то мы тем самым автоматически получим все необходимые формулы, определяющие концентрации частиц этой фазы.

Во всех случаях дифференцирование по N_k мы можем заменить дифференцированием по соответствующему граничному импульсу p_k , за исключением переменной N_π .

Приравнивая производные Φ нулю, получаем следующие уравнения:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial p_k} = \frac{c}{\pi h^3} p_k^2 (M_k^2 c^2 + p_k^2)^{1/2} + 3(\alpha + \beta) p_k^2 = 0, \quad (3.6)$$

где $k = p, p^*$ и Σ^+ ,

$$\frac{\partial \Phi}{\partial p_k} = \frac{c}{\pi^2 h^3} p_k^2 (M_k^2 c^2 + p_k^2)^{1/2} + 3(\beta - \alpha) p_k^2 = 0, \quad (3.7)$$

где $k = \Sigma^-$ и Ξ^- ,

$$\frac{\partial \Phi}{\partial p_k} = \frac{c}{\pi^2 h^3} p_k^2 (M_k^2 c^2 + p_k^2)^{1/2} + 3\beta p_k^2 = 0, \quad (3.8)$$

где $k = n, n^*, \Lambda, \Sigma^0$ и Ξ^0 ,

$$\frac{\partial \Phi}{\partial p_k} = \frac{c}{\pi^2 h^3} p_k^2 (m_k^2 c^2 + p_k^2)^{1/2} - 3\alpha p_k^2 = 0, \quad (3.9)$$

где $k = e$ и μ и, наконец,

$$\frac{\partial \Phi}{\partial N_\pi} = m_\pi c^2 - 3\pi^2 h^3 \alpha = 0. \quad (3.10)$$

Эти уравнения вместе с (3.3) и (3.4) полностью определяют значения граничных импульсов p_k и параметров α и β . Из (3.6) — (3.10), исключая α и β , получим следующую систему уравнений

$$(M_k^2 c^2 + p_k^2)^{1/2} = (M_n^2 c^2 + p_n^2)^{1/2} \quad (3.11)$$

для случая, когда $k = n^*, \Lambda, \Sigma^0$ и Ξ^0 ,

$$(M_k^2 c^2 + p_k^2)^{1/2} = (M_n^2 c^2 + p_n^2)^{1/2} - (m^2 c^2 + p_e^2)^{1/2} \quad (3.12)$$

для случая, когда $k = p, p^*$ и Σ^+ ,

$$(M_k^2 c^2 + p_k^2)^{1/2} = (M_n^2 c^2 + p_n^2)^{1/2} + (m^2 c^2 + p_e^2)^{1/2} \quad (3.13)$$

для случая, когда $k = \Sigma^-$ и Ξ^- и, наконец,

$$(m_\mu^2 c^2 + p_\mu^2)^{1/2} = (m^2 c^2 + p_e^2)^{1/2} = m_\pi c. \quad (3.14)$$

Формулы (3.11) — (3.14) вместе с (3.3) и (3.4) полностью определяют концентрации частиц N_k в самом общем случае, когда в газе из лептонов и барионов плотность материи настолько высока, что в нем представлены

все возможные элементарные частицы. Как мы видим, в состоянии термодинамического равновесия граничные энергии Ферми для барионов, имеющих одинаковое зарядовое состояние, равны. Эта теорема справедлива и для лептонов.

Теперь наша задача — выяснить как изменяются концентрации N_k при возрастании полного числа барионов N от нуля до предельно больших величин. При этом возрастании мы будем иметь дело со сменой ряда фаз.

Первая фаза. — Плотность барионов настолько мала, что сумма граничных энергий Ферми протонов и электронов меньше энергии покоя нейтрона (а тем самым и всех других барионов). Тогда присутствуют только протоны и электроны. В этом случае имеем простое уравнение:

$$N_p = N_e.$$

Эту фазу будем называть протонно-электронной.

Вторая фаза. — Сумма граничных энергий электрона и протона превышает энергию покоя нейтрона, а граничная энергия электронов меньше энергии покоя μ -мезона (нейтронная фаза).

Тогда имеем:

$$(M_p^2 c^2 + p_p^2)^{1/2} + (m^2 c^2 + p_e^2)^{1/2} = (M_n^2 c^2 + p_n^2)^{1/2} \quad (3.15)$$

$$N_e = N_p.$$

Это уравнение получается из системы (3.11) — (3.14), если в них опустить параметры всех частиц, за исключением электрона, протона и нейтрона. Решая уравнения (3.15), находим:

$$N_e = N_p = N_0 \chi^{-3} \{ [1 + \alpha \chi / \pi + \chi^2 (N_n / N_0)^{2/3}]^{1/2} - 1 \}, \quad (3.16)$$

где $\alpha \approx 2,54$ — разность масс нейтрона и протона в единицах массы электрона, $\chi = 2\pi m / M_p = 3,39 \cdot 10^{-3}$ и $N_0 = 8 (mc/h)^3 = 1,4 \cdot 10^{32} \text{ см}^{-3}$.

Переход из протонно-электронной в нейтронную фазу совершается при плотности барионов $N = 0,77 \cdot 10^{31} \text{ см}^{-3}$. Отношение числа протонов к числу нейтронов в этой фазе быстро уменьшается и скоро становится порядка 10^{-3} .

Третья фаза. — Граничная энергия электронов превосходит энергию покоя μ^- -мезонов, а сумма граничных энергий нейтрона и электрона меньше энергии покоя Σ^- частицы (нуклоно- μ^- -мезонная фаза). В этом случае из (3.11) — (3.14) получаем:

$$\begin{aligned} (M_p^2 c^2 + p_p^2)^{1/2} &= (M_n^2 c^2 + p_n^2)^{1/2} - p_e, \\ (m_\mu^2 c^2 + p_\mu^2)^{1/2} &= p_e, \\ p_e^3 + p_\mu^3 &= p_p^3. \end{aligned} \quad (3.17)$$

Как в предыдущей, так и в этой фазе электроны являются крайне релятивистскими. Число μ^- -мезонов здесь очень мало по сравнению с числом электронов, поэтому при вычислении концентраций протонов и электронов мы по-прежнему можем пользоваться формулой (3.16). Для концентрации μ^- -мезонов имеем

$$N_\mu = N_e [1 - (A_\mu/N_e)^{2/3}]^{3/2}, \quad (3.18)$$

где $A_\mu = (1/3\pi^2) (m_\mu c/h)^3 = 5.24 \cdot 10^{36} \text{ см}^{-3}$ — порог рождения μ^- -мезонов. Этой плотности электронов соответствует плотность нейтронов, приблизительно равная $5 \cdot 10^{38} \text{ см}^{-3}$, что примерно в два с половиной раза больше плотности частиц в обычной ядерной материи.

Четвертая фаза.—Эта фаза начинается с той плотности материи, при которой сумма граничных энергий нейтрона и электрона становится равной энергии покоя Σ^- -гиперонов. При этой плотности появляются первые Σ^- -гипероны. При дальнейшем возрастании плотности материи последовательно появляются частицы Λ , n^* , Σ^0 , Ξ^- , p^* , Σ^+ и Ξ^0 . Эта фаза, которую удобно назвать гиперонной, состоит из ряда подфаз, соответствующих появлению перечисленных частиц. Однако мы не будем останавливаться на характеристиках отдельных подфаз. Из общих уравнений (3.11) — (3.14), опуская энергию покоя π -мезонов (так как этой частицы еще нет), получаем:

$$E_\Lambda = E_{n^*} = E_{\Sigma^0} = E_{\Xi^0} = E_n \quad (a)$$

$$E_{\Sigma^+} = E_{p^*} = E_p = E_n - E_e \quad (b)$$

$$E_{\Sigma^-} = E_{\Xi^-} = E_n + E_e \quad (c) \quad (3.19)$$

$$E_e = E_\mu \quad (d)$$

$$p_p^3 + 2\gamma_{p^*}^3 + p_{\Sigma^+}^3 - p_{\Sigma^-}^3 - p_{\Xi^-}^3 - p_\mu^3 - p_e^3 = 0, \quad (e)$$

где E_k — граничная энергия (химический потенциал) частиц.

Из (3.19a) получаем:

$$N_k = \frac{1}{2} a_k N_n [1 - (A_k/N_n)^{2/3}]^{3/2}, \quad (3.20)$$

$$k = \Lambda, \Sigma^0, n^* \text{ и } \Xi^0,$$

где A_k — постоянные числа

$$A_k = \frac{1}{3\pi^2} \left(\frac{M_k c}{h} \right)^3 [1 - M_n^2/M_k^2]^{3/2}. \quad (3.21)$$

Из (3.20) видно, что нейтральные гипероны могут существовать в среде лишь при плотностях, превосходящих плотности нейтронов $N_n > A_k$. Таким образом, числа A_k играют роль пороговых плотностей

для соответствующих частиц. Численное значение пороговых плотностей для нейтральных гиперонов таково

$$A_k = \begin{cases} 9,6 \cdot 10^{38} \text{ см}^{-3} & \text{для } \Lambda \\ \sim 9,6 \cdot 10^{38} \text{ см}^{-3} & \text{для } n^* \\ 1,72 \cdot 10^{39} \text{ см}^{-3} & \text{для } \Sigma^0 \\ 3,55 \cdot 10^{39} \text{ см}^{-3} & \text{для } \Xi^0 \end{cases} \quad (3.21')$$

В качестве примера укажем, что при плотности нейтронов $N_n = 4 \cdot 10^{39} \text{ см}^{-3}$, плотности $\Lambda \sim$, $\Sigma^0 \sim$ и $\Xi^0 \sim$ гиперонов соответственно равны $1,92 \cdot 10^{39}$; $1,12 \cdot 10^{39}$ и $8,2 \cdot 10^{37} \text{ см}^{-3}$, а число частиц в состоянии изобара нейтрона будет $3,85 \cdot 10^{33} \text{ см}^{-3}$. При плотностях материи 10^{40} см^{-3} концентрации всех нейтральных частиц будут величины одинакового порядка.

Далее, уравнения (3.19b) позволяют плотности всех положительно заряженных частиц выразить через плотность протонов

$$N_k = \frac{1}{2} a_k N_p [1 - (B_k/N_p)^{2/3}]^{3/2}; \quad k = p^* \text{ и } \Sigma^+, \quad (3.22)$$

где через B_k обозначено

$$B_k = \frac{1}{3\pi^2} \left(\frac{M_k c}{h} \right)^3 \left(1 - \frac{M_p^2}{M_k^2} \right)^{3/2}. \quad (3.23)$$

Как в случае нейтральных гиперонов, числа B_k играют роль пороговых плотностей для положительных гиперонов. Они могут присутствовать в среде лишь при плотностях протонов $N_p > B_k$. Численное значение постоянных таково

$$B_k = \begin{cases} 1,73 \cdot 10^{39} \text{ см}^{-3} & \text{для } \Sigma^+ \\ \sim 0,98 \cdot 10^{39} \text{ см}^{-3} & \text{для } p^*. \end{cases} \quad (3.24)$$

Аналогичным образом из уравнений (3.19c) находим:

$$N_{\Xi^-} = N_{\Sigma^-} [1 - (B_{\Xi^-}/N_{\Sigma^-})^{2/3}]^{3/2}, \quad (3.25)$$

где

$$B_{\Xi^-} = \frac{1}{3\pi^2} \left(\frac{M_{\Xi^-} c}{h} \right)^3 \left(1 - M_{\Sigma^-}^2/M_{\Xi^-}^2 \right)^{3/2} = 7,87 \cdot 10^{38} \text{ см}^{-3}.$$

Таким образом, для полного решения задачи определения концентраций всех частиц при заданной плотности материи, нам остается лишь выразить плотность электронов, протонов и Σ^- -гиперонов че-

рез плотность нейтронов. Взамен общей плотности материи мы задаем плотность нейтронов, а это фактически эквивалентно заданию постоянной в уравнении (3.4). В нашем распоряжении остаются три неиспользованных уравнения: (3.3), одно из уравнений (3.19b), одно из уравнений (3.19c) и (3.19d) для трех неизвестных N_e , N_p и N_{Σ^-} . Эти уравнения перепишем здесь в следующем виде:

$$p_p^3 \left[1 + 2 \left(1 - \frac{b_p^{2*}}{p_p^2} \right)^{3/2} + \left(1 - \frac{b_{\Sigma^+}^2}{p_p^2} \right)^{3/2} \right] - p_{\Sigma^-}^3 \left[1 + \left(1 - \frac{b_{\Sigma^-}^2}{p_{\Sigma^-}^2} \right)^{3/2} \right] - p_e^3 \left[1 + \left(1 - \frac{m_{\mu}^2 c^2}{p_e^2} \right)^{3/2} \right] = 0, \quad (3.26)$$

$$c p_p = [(E_n - E_e)^2 - M_p^2 c^4]^{1/2}; \quad c p_{\Sigma^-} = [(E_n + E_e)^2 - M_{\Sigma^-}^2 c^2]^{1/2},$$

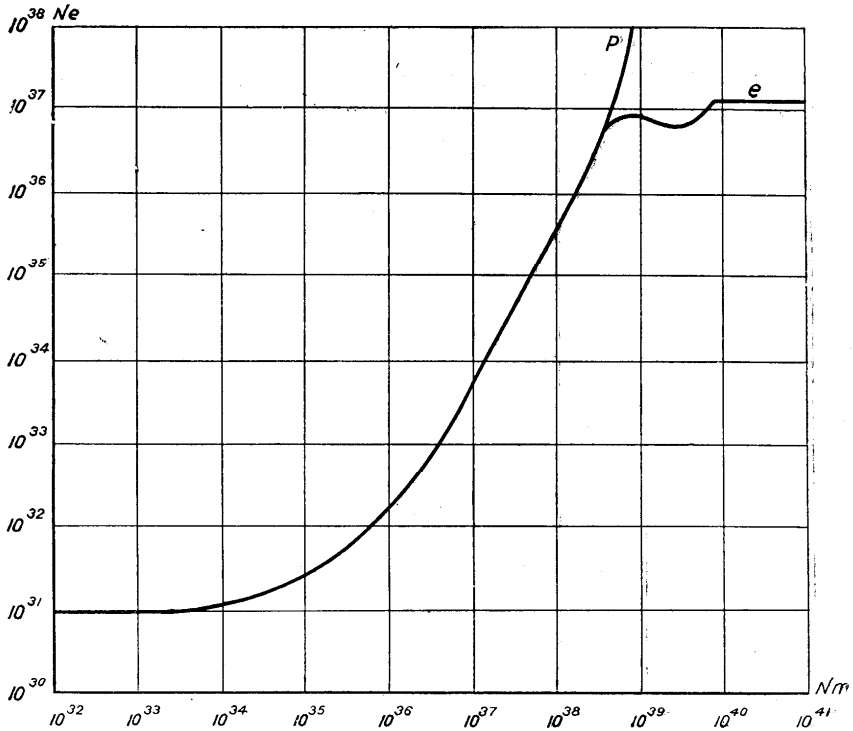
где введено обозначение

$$b_k = (3\pi^2)^{1/3} \hbar B_k^{1/3} = \begin{cases} \sim 3,23 \cdot 10^{-14} & \text{для } p^* \\ 3,9 \cdot 10^{-14} & \text{для } \Sigma^+ \\ 3,0 \cdot 10^{-14} & \text{для } \Xi \end{cases} \quad (3.27)$$

Постоянные b_k связаны с массами соответствующих частиц простым соотношением $b_k = c(M_k^2 - M_i^2)^{1/2}$, где индекс $i = p$ в случае положительных частиц и Σ^- — в случае $\Xi^- \sim$ гиперонов. В (3.26) при написании первого уравнения учтены (3.22), (3.18) и (3.25).

Уравнения (3.26) были решены графически. Результаты приведены на фиг. 1 и 2. Фиг. 1 изображает зависимость плотности электронов от плотности нейтронов. При $N_n < 5 \cdot 10^{38} \text{ см}^{-3}$ в среде нет μ^- -мезонов и гиперонов, в этой области $N_e = N_p$. При $N_n < 10^{35} \text{ см}^{-3}$ концентрация электронов (протонов) с ростом N_n растет медленно и на три-четыре порядка меньше концентрации нейтронов. При дальнейшем росте N_n (когда $N_n > 10^{35} \text{ см}^{-3}$) кривая $\log N_e$ растет круче. При этом подавляющее большинство электронов является крайне релятивистским. При $N_n > 5 \cdot 10^{38} \text{ см}^{-3}$ появляются μ^- -мезоны, однако их число мало и $N_e \approx N_p$. При некотором пороговом значении N_n появляются $\Sigma^- \sim$ гипероны. Этому пороговому значению соответствует граничный импульс p_n , удовлетворяющий уравнению:

$$\left\{ [(M_{\Sigma^-} c^2 - E_n)^2 - m_{\mu}^2 c^4]^{3/2} + (M_{\Sigma^-} c^2 - E_n)^3 \right\}^2 = [(2E_n - M_{\Sigma^-} c^2)^2 - M_p^2 c^4]^3. \quad (3.28)$$



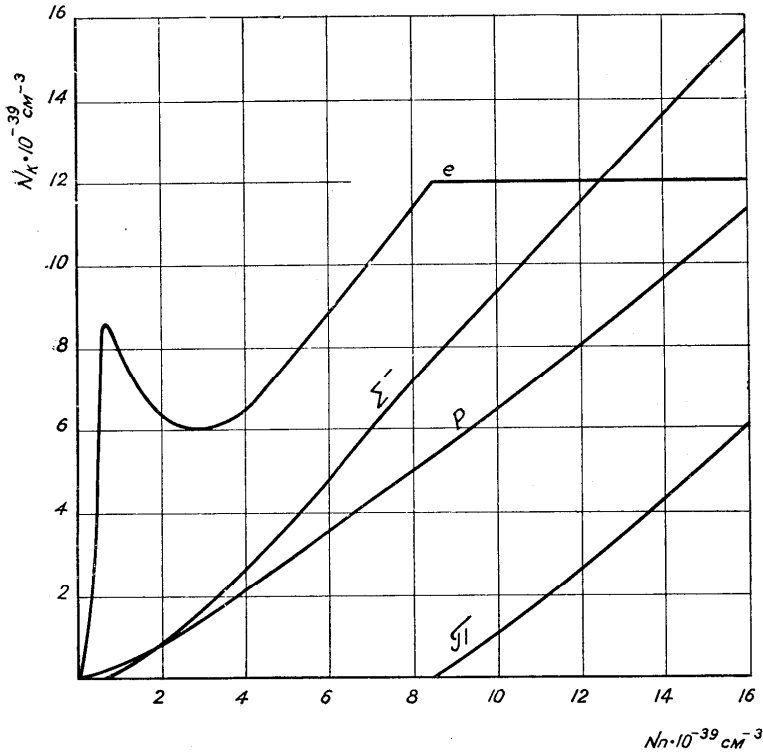
Фиг. 1. Кривая зависимости плотности электронов N_e от плотности нейтронов N_n . Шкала логарифмическая. Ординаты кривой при $N_n < 6 \cdot 10^{38} \text{ см}^{-3}$ одновременно дают плотность протонов. За этой критической точкой кривая протонов p , изменяя наклон, круто поднимается вверх, а кривая электронов e сперва заметно падает, а дальше начинает подниматься. Это уменьшение N_e обусловлено появлением и дальнейшим быстрым ростом концентрации $\Sigma^- \sim$ гиперонов. При $N_n \geq 8.5 \cdot 10^{39} \text{ см}^{-3}$ концентрация электронов является постоянным числом, что обусловлено наличием π^- -мезонного газа.

Решение этого уравнения дает $p_n = 517 \frac{\text{Mev}}{c}$, откуда получаем $N_n = 6,13 \cdot 10^{38} \text{ см}^{-3}$.

Замечательно, что при этой плотности еще нет Λ -гиперонов, которые, как указывалось выше, появляются при пороговой барионной плотности $N = 1,25 \cdot 10^{39} \text{ см}^{-3}$. Это происходит несмотря на то, что энергия покоя Σ^- -частиц значительно превосходит энергию покоя Λ -частиц. Причиной является то, что Σ^- -частицы должны компенсировать положительный заряд протонов, число которых возрастает с увеличением N_n , причем, начиная с некоторого момента, Σ^- -частицы в энергетическом отношении более „экономичны“, чем один новый протон и два новых электрона. При дальнейшем повышении плотно-

сти после Λ -гиперонов появляются последовательно $\Sigma^0 \sim$ гипероны, $\Xi^- \sim$ гипероны, затем $\Sigma^+ \sim$ и $\Xi^0 \sim$ гипероны. Интересно, что отрицательный гиперон Ξ^- опять опережает более легкий $\Sigma^+ \sim$ гиперон. Все эти пороговые плотности оказываются ниже того порога, при котором появляются π^- -мезоны. В таблице приводятся значения пороговых концентраций барионов и полной плотности материи, при которых появляются разные виды гиперонов.

На фиг. 2 изображены кривые зависимости концентраций электронов, протонов и $\Sigma^- \sim$ гиперонов от концентраций нейтронов. Эти кривые вместе с формулами (3.22) и (3.25) позволяют вычислить плотность всех заряженных барионов для заданного значения концентрации нейтронов.



Фиг. 2. Зависимость плотностей протонов, Σ^- -гиперонов, π^- -мезонов и электронов от плотности нейтронов. Ординаты кривой для электронов умножены на 10^3 . При $N_n = 8,5 \cdot 10^{39} \text{ см}^{-3}$ на всех кривых наблюдается излом, обусловленный рождением π^- -мезонного газа.

Пятая фаза. — Граничная энергия электронов и μ^- -мезонов становится равной энергии покоя π^- -мезона. С этого момента появляются π^- -мезоны. В этом случае вступает в силу вся система урав-

Таблица

Значение некоторых характерных параметров для порогов рождения различных гиперонов

Частицы	n	μ^-	Σ^-	Λ	n^*	Σ^0	Ξ^-	p^*	Σ^+	Ξ^0	π^-
t_n	0	1,92	2,10	2,41	2,41	2,856	2,97	3,07	3,42	3,49	4,36
Плотность барионов $N \cdot 10^{-39} \text{ см}^{-3}$	$7,68 \cdot 10^{-9}$	0,465	0,64	1,27	1,27	3,95	5,10	6,44	13,5	15,4	58,6
Плотность материи $\rho \cdot 10^{-15} \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$	$1,28 \cdot 10^{-8}$	0,813	1,12	2,36	2,36	7,82	10,3	13,2	28,8	33,0	114

Примечание. Определение t_n дано в (4.4).

нений (3.11) — (3.14). С появлением π^- -мезонов концентрации электронов и μ^- -мезонов больше не растут — остаются постоянными, а концентрация π^- -мезонов с ростом плотности барионов очень быстро растет и скоро по порядку величины становится равной концентрации каждого из вида барионов. Порог рождения легко определяется сопоставлением упомянутых уравнений, или уравнения (3.14) и фиг. 2. Он оказывается равным $N_e = 1,20 \cdot 10^{37} \text{ см}^{-3}$, или, выражаясь в терминах плотностей нейтронов и барионов, соответственно равным $N_n = 8,5 \cdot 10^{39} \text{ см}^{-3}$ и $N = 5,8 \cdot 10^{40} \text{ см}^{-3}$.

Из (3.14) для концентраций электронов и μ^- -мезонов находим:

$$N_e = \frac{1}{3\pi^2} \left(\frac{m_{\pi} c}{h} \right)^3 = 1,20 \cdot 10^{37} \text{ см}^{-3},$$

$$N_{\mu} = \frac{c^3}{3\pi^2} (m_{\pi}^2 - m_{\mu}^2)^{3/2} / h^3 = 3,35 \cdot 10^{36} \text{ см}^{-3}, \quad (3.29)$$

$$\text{при } N_n > 8,5 \cdot 10^{39} \text{ см}^{-3}.$$

Далее для этой фазы остаются в силе формулы (3.20), (3.22) и (3.25), выражающие связь между концентрациями барионов, имеющих одинаковый заряд. Теперь можно также установить аналитическую связь между концентрациями заряженных и нейтральных барионов. Так, из уравнения (3.12) с учетом (3.14) получаем:

$$N_k = \frac{1}{2} a_k \left\{ [(C_n^{2/3} + N_n^{2/3})^{1/2} - C_\pi^{1/3}]^2 - C_k^{2/3} \right\}^{3/2}, \quad (3.30)$$

$$C_k = \lambda_k^{-3} / 3\pi^2$$

где $\lambda = h/M_k c$ — комптоновская длина волны k -й частицы, деленная на 2π , а индекс k пробегает значения p , p^* и Σ^+ .

Аналогично из (3.13) и (3.14) для концентраций отрицательных гиперонов находим:

$$N_k = \left\{ [(C_n^{2/3} + N_n^{2/3})^{1/2} + C_\pi^{1/3}]^2 - C_k^{2/3} \right\}^{3/2}. \quad (3.31)$$

Обозначения те же самые, что и в (3.30). Для значений постоянных C_k имеем:

$$C_k = \begin{array}{ll} 1,20 \cdot 10^{37} & \text{для } \pi\text{-частиц} \\ 3,66 \cdot 10^{39} & \text{для } p \quad " \\ 3,67 \cdot 10^{39} & \text{для } n \quad " \\ 6,14 \cdot 10^{39} & \text{для } p^* \quad " \\ 7,43 \cdot 10^{39} & \text{для } \Sigma^+ \quad " \\ 7,57 \cdot 10^{39} & \text{для } \Sigma^- \quad " \\ 10,2 \cdot 10^{39} & \text{для } \Xi^- \quad " \end{array} \quad (3.32)$$

Таким образом, концентрации всех частиц, за исключением π^- -мезонов, мы уже выразили как функцию N_n . Концентрацию π^- -мезонов можно вычислить по формуле

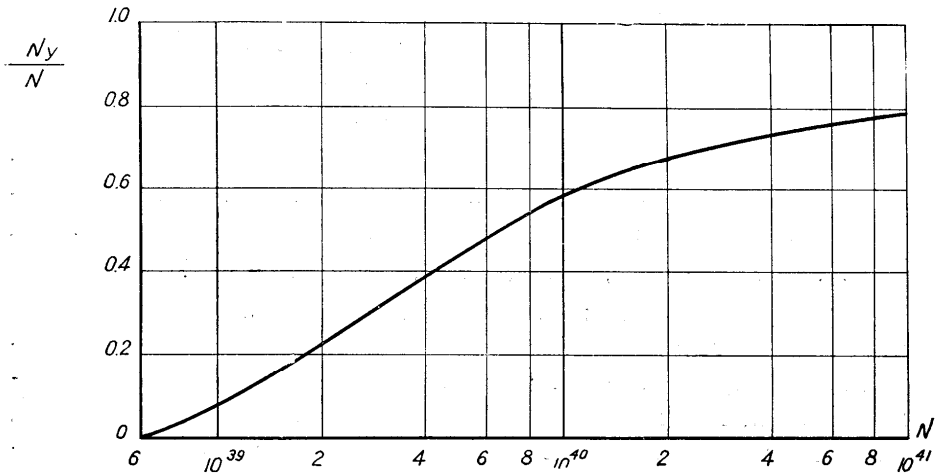
$$N_\pi = N^+ - N^- - N_e - N_p, \quad (3.3')$$

где N^+ и N^- — соответственно суммарная концентрация положительных и отрицательных барионов. Результаты приведены на фиг. 2. Незначительные изломы на кривых для электронов, протонов и Σ^- -гиперонов при $N_n = 8,5 \cdot 10^{39} \text{ см}^{-3}$ обусловлены появлением π^- -мезонов в среде.

Фиг. 3 дает зависимость относительного числа гиперонов от числа барионов.

В крайне релятивистском случае, т. е. при очень больших плотностях материи, которые в природе, может быть, и не реализуются, мы имели бы асимптотические равенства:

$$\begin{aligned} N_{\Sigma^+} &\simeq N_p \simeq 0,5 N_{p^*} \simeq N_{\Xi^-} \simeq N_{\Sigma^-} \simeq \\ &\simeq N_\Lambda \simeq 0,5 N_{n^*} \simeq N_{\Sigma^0} \simeq N_{\Xi^0} \simeq N_n, \\ N_\pi &\simeq N^+ - N^- \simeq 2 N_n. \end{aligned} \quad (3.33)$$



Фиг. 3. По оси абсцисс отложена плотность барионов, а по оси ординат — отношение плотностей гиперонов ко всем барионам.

Итак, на основании полученных в этом параграфе результатов, мы приходим к заключению, что при плотностях материи $N \gtrsim 10^{39}$ барионов $\cdot \text{см}^{-3}$ в среде, помимо нуклонов, имеются также гипероны и возбужденные нуклоны. Концентрации всех барионов одинакового порядка величины, тогда как концентрация электронов и μ -мезонов — на три порядка меньше. При плотностях барионов $N > 6 \cdot 10^{40} \text{ см}^{-3}$ появляются в сравнительно большом количестве и π -мезоны.

Для рассмотренного в этом параграфе подхода к решению поставленного перед нами вопроса не обязательно, чтобы $T = 0$. Очевидно, что полученные выше результаты останутся в силе и при отличных от нуля температурах, таких, чтобы барионный газ можно было считать сильно вырожденным. С другой стороны, поскольку плотность материи очень большая, дозволённые при этом температуры могут все-таки достигать высоких значений.

Критическая плотность, при которой в среде появляются первые гипероны, примерно в 3 раза превышает обычную ядерную плотность. Естественно, возникает вопрос, не могут ли какие-либо силы и, в частности, силы, возникающие между барионами при очень тесном сближении (несжимаемость), помешать реализации столь больших плотностей. Чтобы ответить на этот вопрос, посмотрим, какие отличия имеются в физических условиях, существующих в обычных атомных ядрах и в ядерной материи, рассмотренной нами. Ядерная материя в звездах, в отличие от обычных ядер, нейтральна и, кроме того, она находится в поле мощного гидростатического давления, созданного гравитационными силами. Очевидно, оба эти отличия создают благоприятные условия для даль-

нейшего повышения плотности материи. Более того, материя в таких физических условиях была бы бесконечно сжимаема, если бы при малых расстояниях порядка $0,4 \cdot 10^{-13}$ см между нуклонами не существовали особые ядерные силы отталкивания. Эти силы настолько мощные, что обычно аппроксимируются в виде δ -функции Дирака, т. е. нуклон представляется имеющим твердую сердцевину с радиусом порядка $2 \cdot 10^{-14}$ см [12]. Эти силы отталкивания, по всей вероятности, в конце концов скомпенсируют гидростатическое давление, и сжатие вещества выше некоторой предельной плотности будет затруднено. Эта предельная плотность будет, по-видимому, больше $N \sim (0,4 \cdot 10^{-13})^{-3} = 1,6 \cdot 10^{40}$ см³, т. е. выше наших пороговых плотностей появления гиперонов, но ниже пороговой плотности появления π -мезонов. Таким образом, в природе, по-видимому, вполне могут реализоваться физические условия, при которых в среде будут существовать гипероны, как стабильные частицы. В то же самое время вопрос о появлении π^- -мезонов при больших плотностях может нуждаться в пересмотре, так как наличие отталкивательных сил может сделать неправильной теорию, в которой взаимодействие не принято во внимание.

Область звезды, в которой, помимо нуклонов, имеются также гипероны, будем называть гиперонным ядром. Оно должно быть окружено шаровым слоем, преимущественно состоящим из нейтронов. В этом слое гиперонов вовсе нет, протоны и электроны представлены в равном количестве, а их концентрация примерно на три порядка меньше концентрации нейтронов. Эту область звезды мы будем называть нейтронным слоем. За нейтронным слоем находится область вещества, состоящего из электронов, протонов и других атомных ядер. В глубоких слоях этой области атомы полностью ионизированы. Эту область звезды дальше мы будем называть внешней оболочкой.

§ 4. *Уравнение состояния.* До сих пор мы рассматривали равновесный состав вещества при данной плотности. Однако вопрос о том, какие плотности достигаются в какой-либо космической массе, находящейся в равновесии под действием сил собственного притяжения, может быть решен только путем построения модели конфигурации равновесия для этой массы, где давление компенсирует притяжение. При этом, имея в виду большие плотности, следует исходить вообще из уравнений теории тяготения Эйнштейна.

В уравнения Эйнштейна входит тензор энергии и импульса, компоненты которого определяются собственной плотностью материи и собственным давлением, т. е. плотностью и давлением, измеренными наблюдателем, находящимся в заданной точке. Решение уравнений Эйнштейна становится возможным только тогда, когда наряду с ними задается зависи-

мость давления от плотности, т. е. когда известно уравнение состояния. В настоящей статье мы ограничимся лишь установлением уравнения состояния для вырожденного барионного газа при рассмотренных выше высоких плотностях.

Рассмотрим малый объем V , внутри которого гравитационное поле и, следовательно, концентрации частиц можно считать постоянными. Собственная энергия, заключенная в этом объеме, равна

$$E = V \left\{ \sum_k \left[\int_0^{p_k} E_k(p) dN_k(p) + N_k \cdot U(N) \right] + N_\pi m_\pi c^2 \right\}, \quad (4.1)$$

где $E_k = c (M_k^2 c^2 + p_k^2)^{1/2}$ — энергия k -й частицы, $dN_k(p)$ — число этих частиц с импульсами в интервале $(p, p + dp)$, $U(N)$ — ядерная потенциальная энергия для одной частицы, которая для всех барионов предполагается одинаковой, а $N = \sum_k N_k$ — общая плотность барионов.

Энергия электронного газа мала, и мы ею будем пренебрегать. Запись энергии в виде (4.1) соответствует тому, что в уравнении Эйнштейна под тензором энергии и импульса T_{ik} мы должны подразумевать сумму тензоров энергии и импульса материи и ядерного поля.

В области обычных ядерных плотностей $10^{38} \lesssim N \lesssim 10^{39} \text{ см}^{-3}$ энергия $U(N)$ по сравнению с E_k достаточно мала, и можно ею пренебречь. Действительно, средняя кинетическая энергия нуклонов в ядрах приблизительно равна 27 Мев, а энергия связи после поправок на отсутствие кулоновских сил отталкивания и на поверхностные эффекты равна 15 Мев. Следовательно, глубина потенциальной ямы равна 42 Мев. Разумеется, $U(N)$ не является постоянной, а зависит от плотности частиц N . В области плотностей $10^{37} \lesssim N \lesssim 10^{39} \text{ см}^{-3}$ эту функцию можно было получить из сопоставления кривых на рис. 10 и 11 работы [11]. Алгебраическая сумма ординат этих кривых эквивалентна нашей одночастичной потенциальной энергии $U(N)$. Таким образом, $U(N)$ с увеличением N сперва уменьшается, при $N \approx 4 \cdot 10^{38} \text{ см}^{-3}$ достигает своего минимального значения, равного -40 Мев, и дальше, при $N > 4,5 \cdot 10^{38} \text{ см}^{-3}$, т. е. при плотности лишь несколько меньшей, чем пороговая плотность появления $\Sigma^- \sim$ гиперонов, начинает быстро возрастать. Минимальному значению $U(N)$ соответствует среднее расстояние между частицами порядка комптоновской длины волны π -мезона $h/m_\pi c$. В цитированной работе принималось, что при некотором значении расстояния между частицами (0.4 формы) потенциальная энергия взаимодействия скачком возрастает до положительной бесконечности, что соответствует допущению о твердой сердцевине нуклонов.

На самом деле, разумеется, сердцевина нуклонов не является идеально жесткой, и бесконечно большая отталкивающая сила, действующая при определенном фиксированном расстоянии между двумя частицами, должна быть заменена реальной картиной конечных сил отталкивания. Это необходимо, поскольку в выражение для давления будет входить производная dU/dN , что эквивалентно заданию силы отталкивания. Иными словами, при $N > 10^{39} \text{ см}^{-3}$ поведение функции $U(N)$ будет иметь существенное значение и грубая аппроксимация этой функции разрывной кривой, имеющей бесконечно большой положительный скачок, является совершенно недостаточной.

Имея в виду, что в дальнейшем нам придется касаться и вопросов, связанных с очень высокими плотностями, мы нашли целесообразным сохранить в (4.1) член, содержащий $U(N)$. Однако следует отметить, что представление потенциальной энергии одной частицы в виде $U(N)$ само является грубым приближением, так как реальная энергия взаимодействия может зависеть и от распределения импульсов частиц, а также от других параметров.

Из (4.1), после интегрирования, находим плотность энергии

$$\rho = \frac{c}{16\pi^2 h^3} \sum_k a_k \left[p_k (M_k^2 c^2 + 2p_k^2) (M_k^2 c^2 + p_k^2)^{1/2} - M_k^4 c^4 \ln \frac{p_k + \sqrt{M_k^2 c^2 + p_k^2}}{M_k c} \right] + NU(N) + N_\pi m_\pi c^2. \quad (4.2)$$

Далее производная (4.1) по объему с обратным знаком дает давление

$$P = \frac{c}{48\pi^2 h^3} \sum_k a_k \left[p_k (2p_k^2 - 3M_k^2 c^2) (M_k^2 c^2 + p_k^2)^{1/2} + 3M_k^4 c^4 \ln \frac{p_k + \sqrt{M_k^2 c^2 + p_k^2}}{M_k c} \right] + N^2 \frac{dU(N)}{dN}. \quad (4.3)$$

Здесь парциальным давлением электронов и μ^- -мезонов пренебрегли. При $N \approx 4 \cdot 10^{38} \text{ см}^{-3}$, $dU/dN = 0$, но дальше, с ростом N , эта производная быстро растет. В области $N < 4 \cdot 10^{38} \text{ см}^{-3}$ ядерные силы несколько уменьшают ($dU/dN < 0$) внутреннее давление газа, а в области $N > 4 \cdot 10^{38} \text{ см}^{-3}$, наоборот, они увеличивают это давление ($dU/dN > 0$). Таким образом, при достаточно больших dU/dN внутреннее давление может оказаться настолько большим, что компенсирует гравитационные силы, что повлияет на сжимаемость звезды.

По всей вероятности, эта компенсация наступает при концентрациях частиц порядка $2 \cdot 10^{40} \text{ см}^{-3}$.

Соотношения (4.2) и (4.3), вместе взятые, определяют уравнение состояния материи. Для дальнейших применений целесообразно, вместо граничных импульсов p_k , ввести параметры [6, 13, 14]

$$t_k = 4 \ln \frac{p_k + \sqrt{M_k^2 c^2 + p_k^2}}{M_k c}. \quad (4.4)$$

Из (4.2) и (4.3), исключая p_k , находим уравнение состояния в параметрическом виде

$$\rho = \frac{1}{2} K_n \sum_k a_k \left(\frac{M_k}{M_n} \right)^4 (\text{sh } t_k - t_k) + NU(N) + N_\pi m_\pi c^2, \quad (4.5)$$

$$P = \frac{1}{6} K_n \sum_k a_k \left(\frac{M_k}{M_n} \right)^4 \left(\text{sh } t_k - 8 \text{sh } \frac{t_k}{2} + 3t_k \right) + N^2 \frac{dU}{dN}, \quad (4.6)$$

где

$$K_n = \frac{M_n^4 c^5}{32 \pi^2 h^3}.$$

Можно и плотность частиц N выразить через параметры t_k

$$N = \frac{16}{3} \frac{K_n}{M_n c^2} \sum_k a_k \left(\frac{M_k}{M_n} \text{sh } \frac{t_k}{4} \right)^3. \quad (4.7)$$

Используя формулы (3.20), (3.22) и (3.25), а также фиг. 2, можно все параметры t_k выразить через соответствующий параметр для нейтронов t_n .

Таким образом, дальнейшая задача заключается в определении t_n как функции расстояния до центра звезды, а тем самым и всех t_k , а затем ρ и P как функции того же расстояния.

Заключение. Исследование свойств нейтрального вырожденного газа, состоящего из элементарных частиц при $T = 0$, приводит к следующим результатам:

1. При плотности $\rho < \rho_n$, где $\rho_n = 1.28 \cdot 10^7 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$, газ состоит из протонов и электронов.

2. При $\rho = \rho_n$ появляются нейтроны. При дальнейшем возрастании плотности число протонов растет гораздо медленнее, чем число нейтронов. При плотностях больших $2 \cdot 10^3 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ число нейтронов уже во много раз превосходит число протонов и электронов. При этих плотностях вырожденный газ можно рассматривать, практически, как нейтронный газ.

3. При $\rho = \rho_{\Sigma^-} = 1,1 \cdot 10^{15} \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ появляются первые гипероны. Несмотря на то, что частицы Λ , Σ^+ , Σ^0 обладают массами покоя, меньшими, чем Σ^- , первыми появляются частицы Σ^- . При дальнейшем возрастании плотности до $\rho = \rho_{\Lambda}$, где $\rho_{\Lambda} = 2,36 \cdot 10^{15} \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$, число $\Sigma^- \sim$ гиперонов растет, но гипероны других видов еще не появляются.

4. При $\rho = \rho_{\Lambda}$ появляются $\Lambda \sim$ гипероны, а при дальнейшем возрастании плотности и другие, более тяжелые частицы. Таким образом, при плотностях порядка $10^{16} \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ мы имеем барионный газ, представляющий собой смесь нуклонов, гиперонов и изобаров нуклонов, причем концентрации различных барионов имеют один и тот же порядок величины.

При плотностях барионов, превышающих $2 \cdot 10^{40} \text{ см}^{-3}$ ($5 \cdot 10^{16} \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$), исследование состояния такого газа наталкивается на следующие затруднения:

а) Вследствие малых расстояний между барионами возникают очень большие отталкивательные силы, точное поведение которых пока не установлено.

б) Распределение частиц по видам барионов начинает сильно зависеть от возможного наличия более высоких (имеющих большую, чем $E \sim$ гиперон, массу) гиперонов. Поэтому всякие заключения об относительных концентрациях барионов при этих плотностях были бы преждевременны. Можно утверждать лишь одно: относительное число высших гиперонов будет возрастать с увеличением плотности, а при некоторой плотности становится возможным существование π -мезонов, составляющих Бозе-газ.

Все сказанное заставляет считать, что представление о сверхплотных звездах, как чисто нейтронных или почти чисто нейтронных конфигурациях, следует заменить более сложным представлением о звездах, которые имеют гиперонное ядро, нейтронный слой вокруг ядра и электронно-протонную оболочку. При этом, как будет показано в следующей работе, *основная часть массы* (при достаточно больших M) *сосредоточена в гиперонном ядре*.

Заметим, наконец, что при плотностях материи, значительно меньших, чем ядерные, в среде могут существовать отдельные ядра обычных атомов. Так, если учитывать объединение нуклонов в π -частицы, то окажется, что при равновесии не должно быть протонов. Однако, при больших плотностях, рассматриваемых нами, индивидуальные ядра атомов уже не будут играть существенной роли.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. А. Амбарцумян. Изв. АН АрмССР (серия физ.-мат. наук), **11**, 9, 1958; см. также Доклады Солвейской конференции, стр. 241, Брюссель, 1958.
2. В. А. Амбарцумян, *Rev. Mod. Phys.*, **30**, 944, 1958.
3. В. А. Амбарцумян, Сообщения Бюраканской обсерватории, **13**, 1954; см. также: Нестационарные звезды, стр. 16, Ереван, 1957.
4. F. Zwicky, *Ap. J.*, **88**, 522, 1938.
5. W. Baade and F. Zwicky, *Proc. Nat. Acad. Sci.* **20**, 259, 1934.
6. J. R. Oppenheimer and G. M. Volkoff, *Phys. Rev.*, **55**, 374, 1939.
7. L. Landau, *Physik. Zeits. Sowjetunion*, **1**, 285, 1932.
8. З. Л. Окунь, *УФН*, **63**, 449, 1959.
9. Д. А. Глезер, Доклад на международной конференции в Киеве, июль, 1959.
10. R. P. Feynman, M. Gell-Mann, *Phys. Rev.*, **109**, 193, 1958.
11. L. Gomes, J. Walecka and V. Weisskopf, *Ann. of Phys.*, **3**, 241, 1958.
12. Д. И. Блохинцев, В. С. Барашков и Б. М. Барабашев, *УФН*, **68**, 449, 1959.
13. S. Chandrasekhar, *Monthly Notices of R.A.S.*, **95**, 222, 1935.
14. Л. Ландау и Е. Лифшиц, *Статистическая физика*, Москва, 1951.

СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ В. А. АМБАРЦУМЯНА*

1. Eine Methode der Bestimmung der Höhe der Sonnenfackeln nach der Veränderung ihrer Helligkeit. AN, **226**, 93, 1926 (соавтор Н. А. Козырев).
2. Метод численного решения линейных интегральных уравнений первого рода. Сборник студенческих статей математического кружка ЛГУ. 1, Л. 1927.
3. Some Remarks on the Theory of Radiative Equilibrium in the outer Layers of the Stars. MN, **87**, 209, 1927 (соавтор Н. А. Козырев).
4. Radiative Equilibrium in inner Layers of Stars, AN, **87**, 651, 1927 (соавтор Н. А. Козырев).
5. Über die Abhängigkeit zwischen $\int \kappa \rho dh$ und der Temperatur in den äusseren Schichten der Sonne. AN, **229**, 85, 1927 (соавтор Н. А. Козырев).
6. Über die Temperatur der Sonnenoberfläche. AN, **260**, 89, 1927. (соавтор Н. А. Козырев).
7. Über die Beschaffenheit der sichtbaren Sonnenoberfläche. Z. f. Phys., **39**, 60, 1927 (соавтор Н. А. Козырев).
8. The Structure of the outer Layers of the Stars. AN, **232**, 321, 1928 (соавтор Н. А. Козырев).
9. Über die Integralgleichung des Strahlungsgleichgewichts. Z. f. Phys., **47**, 602, 1928 (соавтор Н. А. Козырев).
10. On the Temperature within the Sun-spots. AN, **233**, 107, 1928 (соавтор Н. А. Козырев).
11. Замечания по поводу работы В. А. Костицына: „К вопросу о лучистом равновесии звездных атмосфер“ (1). Астр. журн. **6**, 79, 1929 (соавтор Н. А. Козырев).
12. О способах определения чисел различных атомов в звездных атмосферах. ДАН СССР, сер. А, № 21, 479, 1929.
13. Lineare Geometrie in Hilbertschen Raum, Physikalische Zeitschrift, **30**, 651, 1929.
14. Über die Beziehung zwischen der Lösung und der Resolvente der Integralgleichung des Strahlungsgleichgewichts. Z. f. Phys., **52**, 263, 1929.
15. Über eine Frage der Eigenwerttheorie. Z. f. Phys., **53**, 690, 1929.
16. Zur linearen Geometrie des Funktionenraumes. Z. f. Phys., **55**, 801, 1929.
17. Eine quantentheoretische Bemerkung zur einheitlichen Feldtheorie, ДАН СССР, сер. А, № 3, 45, 1930 (соавтор Д. Д. Иваненко).
18. Über eine Folgerung der Diracschen Theorie der Protonen und Elektronen. ДАН СССР, сер. А, № 6, 153, 1930 (соавтор Д. Д. Иваненко).

* Полный список всех трудов В. А. Амбарцумяна был опубликован недавно Издательством АН Армянской ССР (В. А. Амбарцумян, Ереван, 1958. Материалы к библиографии ученых СССР). *Ред.*

19. Über die quantitative Spectralanalyse der Sonnenatmosphäre. Z. f. Phys., **60**, 255, 1930.
20. Zur Theorie der Abstrptionslinien in Sternatmosphären. Z. f. Phys., **61**, 151, 1930.
21. Zur Frage nach Vermeidung der unendlichen Selbstrückwirkung des Electrons. Z. f. Phys., **64**, 563, 1930.
22. Les electrons inobservables et les rayons β . CR, **190**, 582, 1930 (соавтор Д. Д. Иваненко).
23. Температура солнечных факелов. Бюлл. КИСО, № 2, 11, 1932 (соавтор Н. А. Козырев).
24. On the Spectrum of γ Cassiopeiae. Циркуляры ГАО, № 1, 12, 1932 (соавтор Н. А. Козырев).
25. Bemerkungen über das Spectrum von γ Cassiopeiae. AN, **246**, 171, 1932 (соавтор Н. А. Козырев).
26. Note on the Continuous Spectrum of Solar Faculae. Циркуляры ГАО, № 2, 6, 1932 (соавтор Н. А. Козырев).
27. On the Temperatures of the Nuclei of Planetary Nebulae. Циркуляры ГАО, № 4, 8, 1932.
28. Temperatures of the Wolf-Rayet Stars, Nature, **129**, 725, 1932.
29. The Radiative Equilibrium of a Planetary Nebula, MN, **93**, 50, 1932.
30. On the Radiative Equilibrium of a Planetary Nebula. Изв. ГАО, **13**, № 114, 1, 1933.
31. The Excitation of the Metastable States in the Gaseous Nebulae. Циркуляры ГАО, № 6, 10, 1933.
32. On the Intensities of $\lambda 4686$ and $H\beta$ in the Wolf-Rayet Stars. Циркуляры ГАО, № 7, 11, 1933.
33. Die Flächenhelligkeiten der Monochromatischen Bilder einiger Gasnebel. Z. f. Ap., **6**, 107, 1933.
34. Über die Massen der von neuen Sternen ausgestossenen Gashüllen. Z. f. Ap., **7**, 320, 1933 (соавтор Н. А. Козырев).
35. К вопросу о распределении озона в земной атмосфере. Бюлл. КИСО, № 5—6, 29 1934.
36. О диссипации атмосферы. Труды Всесоюзной конференции по изучению стратосферы, **457**, Л.—М., 1935.
37. On the Ionisation in the Nebular Envelope surrounding a Star. MN, **95**, 469, 1935.
38. On the Derivation of the Frequency Function of Space Velocities of the Stars from the observed Radial Velocities. MN, **96**, 171, 1935.
39. On the mean life-time of the Cluster Type Variables. Observatory, **58**, 152, 1935.
40. The Effect of the Absorption Lines on the Radiative Equilibrium of the outer Layers of the Stars. Труды АО ЛГУ, **6**, 7, 1936.
41. On the Distribution of Space Velocities of B and F Type Stars. Труды АО ЛГУ, **7**, 21, 1936.
42. On the Faint White Stars in Low Galactic Latitudes. Астр. журн., **13**, 1, 1936 (соавтор Г. А. Шайн).
43. Double Stars and the Cosmogonic Time-Scale. Nature, **137**, 537, 1937.
44. Статистика Ферми и теория белых карликов. В кн.: С. Росселанд. Астрофизика на основе теории атома. 140, М.—Л., 1936.
45. Космогония и современная астрофизика. Уч. зап. ЛГУ, **3**, № 17, 96, 1937.
46. К статистике двойных звезд. Астр. журн., **14**, 20, 1937.
47. Томсоновское рассеяние в атмосферах звезд. Уч. зап. ЛГУ, № 22, 5, 1938.
48. О диффузии фотонов через рассеивающую среду в связи с применением к некоторым астрофизическим вопросам. Уч. зап. ЛГУ, № 22, 11, 1938.

49. К вопросу о динамике открытых (звездных) скоплений. Уч. зап. ЛГУ, № 22, 19, 1938.
50. Об интерпретации аномального Бальмеровского декремента в спектрах звезд поздних классов с эмиссионными линиями. Астр. журн., **15**, 14, 1938 (соавтор М. А. Вашакидзе).
51. Problem of Diffuse Nebulae and Cosmic Absorption. Бюлл. Абастуманской АО, № 2, 37, 1938 (соавтор Ш. Г. Горделадзе).
52. Теоретическая астрофизика. М.—Л., 1939.
53. О лучевом равновесии водородных оболочек, окружающих звезды. Уч. зап. ЛГУ, № 31, 5, 1939.
54. О гравитационной потенциальной энергии открытых скоплений. ДАН СССР, **24**, 875, 1939.
55. Вопросы космогонии в свете современной астрофизики, Природа, № 2, 21, 1939.
56. Тезисы доклада „Эволюция звезд и звездных систем“. Астр. журн., **16**, 71, 1939.
57. Флуктуации в числе внегалактических туманностей и галактическое поглощение. Бюлл. Абастуманской АО, № 4, 17, 1940.
58. Проблема интенсивностей спектральных линий в астрофизике. Изв. АН СССР, **4**, 40, 1940.
59. Рассеяние и поглощение света в планетных атмосферах. 1. Уч. зап. ЛГУ, № 82, 64, 1941.
60. О рассеянии света атмосферами планет. Астр. журн., **19**, 30, 1942.
61. Новый способ расчета рассеяния света в мутной среде. Изв. АН СССР, серия геогр. и геофиз., № 3, 97, 1942.
62. К вопросу о диффузном отражении света мутной средой. ДАН СССР, **38**, 257, 1943.
63. К задаче о диффузном отражении света. ЖЭТФ, **13**, 323, 1943.
64. Диффузия света через рассеивающую среду большой оптической толщины. ДАН СССР, **43**, 106, 1944.
65. К теории флуктуаций яркости Млечного Пути. ДАН СССР, **44**, 244, 1944.
66. К вопросу о флуктуациях яркости Млечного Пути. ДАН АрмССР, **1**, 9, 1944.
67. Об одномерном случае задачи о рассеивающей и поглощающей среде конечной оптической толщины. Изв. АН АрмССР, естеств. науки, № 1—2, 31, 1944.
68. On the Problem of the Diffuse Reflection of Light. J. Phys. of USSR, **8**, 65, 1944.
69. О флуктуациях яркости Млечного Пути. Бюлл. Абастуманской АО № 8, 43, 1945.
70. Точечный источник света в мутной среде. Бюлл. Ереванской АО, № 6, 3, 1945.
71. К вопросу о характере связи диффузных туманностей с освещающими их звездами. ДАН АрмССР, **2**, 67, 1945.
72. О парциальной поверхностной яркости М31 и Галактики, происходящей от звезд высокой светимости. ДАН АрмССР, **3**, 39, 1945.
73. О поверхностных яркостях в Галактике. Астр. журн., **3**, 257, 1946.
74. К вопросу об относительном распределении светлой и поглощающей материи в Галактике. ДАН АрмССР, **4**, 133, 1946.
75. Эволюция звезд и астрофизика. Ереван, Изд-во АН АрмССР, 1947.
76. Подсчеты внегалактических туманностей и галактическое поглощение. ДАН АрмССР, **6**, 105, 1947.
77. О диффузном отражении и пропускании света анизотропной одномерной рассеивающей средой конечной оптической толщины. ДАН АрмССР, **7**, 199, 1947.
78. Современная астрофизика и космогония. В кн: Общее собрание Академии наук

- СССР, посвященное тридцатилетию Великой Октябрьской социалистической революции. Доклады, М.—Л., Изд-во АН СССР, 481, 1948.
79. О числе рассеяний при диффузии фотонов в мутной среде. ДАН АрмССР, **8**, 101, 1948.
 80. Мутная среда с равномерным распределением источников. ДАН АрмССР, **8**, 149, 1948.
 81. Звездная ассоциация вокруг Р Лебеда. Сообщения Бюраканской Обсерватории, **2**, 1949 (соавтор Б. Е. Маркарян).
 82. Звездные ассоциации. Астр. журн., **26**, 3, 1949.
 83. Предварительные данные об О-ассоциациях в Галактике. ДАН СССР, **68** 21, 1949.
 84. Замечание о Галактике как спиральной системе. ДАН АрмССР, **10**, 149, 1949.
 85. Звездная ассоциация в Цефее. ДАН АрмССР, **10**, 205, 1949.
 86. Замечание о распределении горячих гигантов. Астр. журн., **27**, 228, 1950.
 87. О распределении горячих гигантов во внешних частях спиральных галактик. ДАН СССР, **73**, 915, 1950.
 88. Звездные ассоциации и происхождение звезд. Изв. АН СССР, сер. физ., **14**, 15, 1950.
 89. On the Patchy Structure of the Interstellar Absorbing Layer. Trans. IAU, **7**, 452, 1950.
 90. Die Sternassoziationen und die Entstehung der Sterne. Abhandlungen der Deutschen Akademie der Wissenschaften. Mathematisch-naturwissensch. Klasse, N. 2, 1950.
 91. К теории флуктуаций в видимом распределении звезд на небе. Сообщения Бюраканской обсерватории, **6**, 1951.
 92. О вероятности кажущихся кратных систем типа Трапедии Ориона. ДАН АрмССР, **13**, 97, 1951.
 93. Ассоциация Кассиопея II. Астр. журн., **23**, 160, 1951.
 94. К статистике кратных систем типа Трапедии. ДАН АрмССР, **13**, 129, 1951.
 95. Теоретическая астрофизика. Под ред. В. А. Амбарцумяна, М., 1952 (соавторы Э. Р. Мустель, А. Б. Северный, В. В. Соболев).
 95. Вводный доклад на симпозиуме по эволюции звезд. (Доклад на VIII съезде Международного астрономического союза в Риме в 1952). Изд-во АН СССР, 1952.
 97. Доклад „О происхождении и развитии звезд и звездных систем“ (на втором совещании по вопросам космогонии). Труды второго совещания по вопросам космогонии, 9, М., 1953.
 98. Холодные сверхгиганты в О-ассоциациях, ДАН АрмССР, **16**, 73, 1953.
 99. О протозвездах. ДАН АрмССР, **16**, 97, 1953.
 100. Проблема возникновения звезд в свете новых работ советских астрофизиков. Вестн. АН СССР, № 12, 49, 1953.
 101. Явление непрерывной эмиссии и источники звездной энергии. Сообщения Бюраканской обсерватории, **13**, 1954.
 102. Кратные системы типа Трапедии. Сообщения Бюраканской обсерватории, **15**, 1954.
 103. Вопросы астронометрического изучения звездных ассоциаций. Труды 10-й Всесоюзной астронометрической конференции, 66, Л., 1954.
 104. On the Origin of Stars. Memoires de la Societe Royale des Sciences de Liege. Quatrieme serie, **14**, 293, 1954.
 105. On Comet-Like Nebulae. Memoires de la Societe Royale des Sciences de Liege. Quatrieme serie, **15**, 458, 1954.
 105. О природе звезд типа Т Тельца. Труды четвертого совещания по вопросам космогонии, 314, М., 1954.

107. О природе кометообразных туманностей. Вопросы космогонии, **4**, 76, 1955.
108. Звезды типов Т Тельца и UV Кита и явление непрерывной эмиссии. К симпозиуму по нестационарным звездам. К IX съезду Международного астрономического союза, Дублин, 1955, 5, М., 1955.
109. Некоторые замечания о кратных галактиках. (Сообщение на симпозиуме Международного астрономического союза в Дублине). Ереван, 1955.
110. Stellar Systems of Positive Total Energy. Observatory, **75**, 72, 1955.
111. Кратные галактики и радиогалактики. Сообщение I. О светимостях радиогалактик. ДАН АрмССР, **23**, 161, 1956.
112. О кратных галактиках. Изв. АН АрмССР, физ.-мат., естеств. и техн. науки, **9**, 23, 1956.
113. К вопросу о природе источников радиоизлучения. Труды пятого совещания по вопросам космогонии, 413, М., 1955.
114. On the Origin of Double Stars. Vistas in Astronomy; **2**, 1703, 1956.
115. Кратные галактики и радиогалактики. Сообщение II. Голубые выбросы и спутники эллиптических галактик, ДАН АрмССР, **25**, 185, 1957 (соавтор Р. К. Шахбазян)
116. Вступительное слово (на совещании по нестационарным звездам), Нестационарные звезды, Ереван, 1957, стр. 9.
117. О плотных облаках релятивистских электронов. Нестационарные звезды, Ереван, 1957, стр. 64.
118. Об освобождении энергии вспышки под фотосферическими слоями. Нестационарные звезды, Ереван, 1957, стр. 70.
119. On the Evolutionary Connection between Stars and Nebulae. Proceedings of Nat. Ac. Sciences, India, **26**, 472, 1957.
120. Кратные галактики и радиогалактики. Сообщение III. О двудерных галактиках. ДАН АрмССР, **26**, № 2, 73, 1958.
121. Кратные галактики и радиогалактики. Сообщение IV. Голубые объекты около эллиптических галактик. ДАН АрмССР, **26**, 277, 1958 (соавтор Р. К. Шахбазян)
122. On the Evolution of Galaxies. Report presented to the Solvay Conference of 1958, Erevan, 1958.
123. Об эволюции галактик. Изв. АН АрмССР, физ.-мат. науки, **9**, № 5, 9, 1958.
124. Über die Sternassoziation Perseus I. Max Planck Festschrift, 97, 1958.
125. On the Problem of the Mechanism of the Origin of Stars in Stellar Associations. Rev. Mod. Phys. **30**, 944, 1958.
126. О вырожденном сверхплотном газе элементарных частиц. Астр. журн., **37**, 193, 1960 (соавтор Г. С. Саакян).

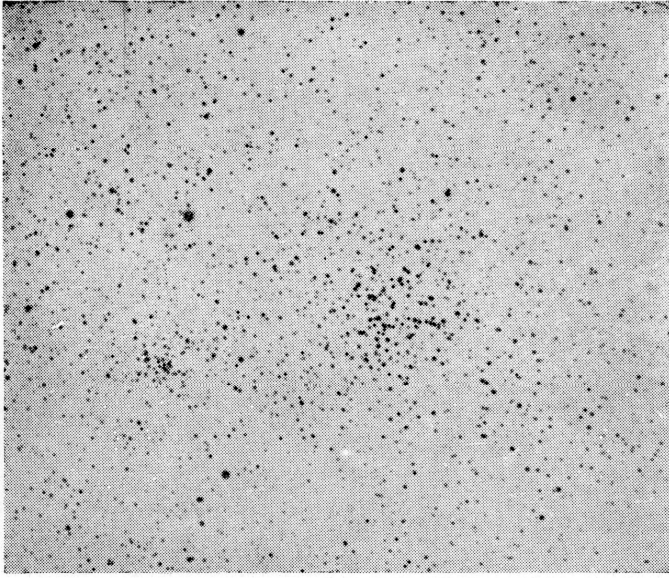


Рис. 1. Два звездных скопления в созвездии Возничего. Снимок получен рефлектором Шмидта на Бюраканской астрофизической обсерватории. Масштаб — одна минута дуги равна $\frac{5}{4}$ м.м.

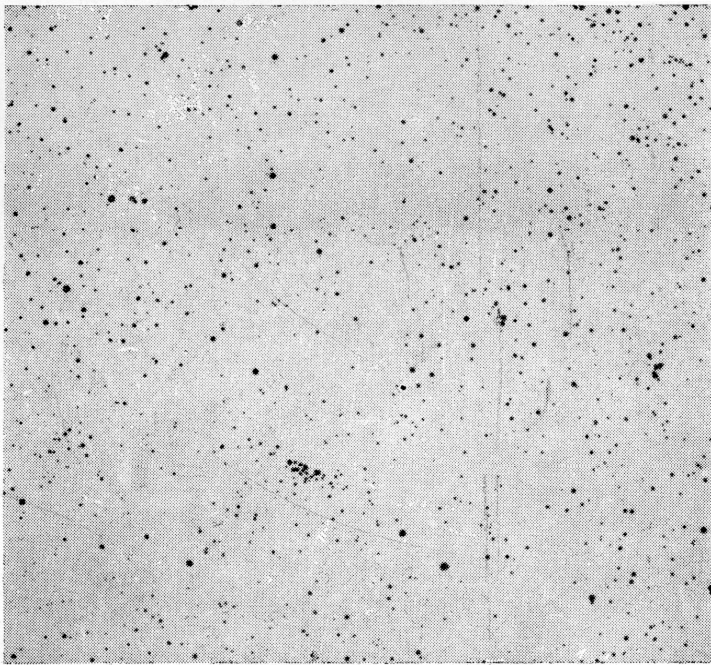


Рис. 2. Звездное скопление NGC 7510 в Кассиопее. Снимок получен рефлектором Шмидта на Бюраканской астрофизической обсерватории. Масштаб — одна минута дуги равна $\frac{5}{4}$ м.м.

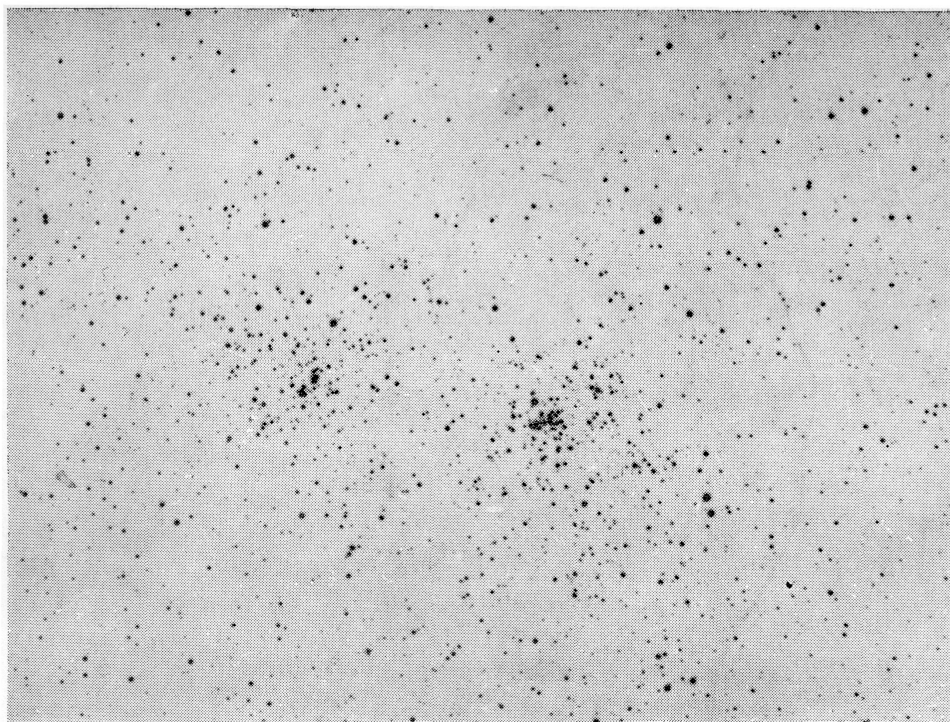


Рис. 3. Звездные скопления δ и γ Персея, являющиеся ядрами О-ассоциации в Персее. В одном из них видны две кратные системы типа Тrapeции Ориона; изображения звезд в каждой из этих систем на снимках почти сливаются. В другом из ядер мы видим звездные цепочки. Снимок получен рефлектором Шмидта на Бюраканской астрофизической обсерватории. Масштаб—одна минута дуги равна $5/4$ м.м.



Рис. 4. Звездное скопление М 25. Система разделена как бы коридором на две части. Снимок получен рефлектором Шмидта на Бюраканской астрофизической обсерватории. Масштаб—одна минута дуги равна $5/4$ м.м.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Звездные ассоциации

Звездные ассоциации	7
Звездная ассоциация вокруг Р Лебеда	17
Предварительные данные об О-ассоциациях в Галактике	28
Замечание о Галактике как спиральной системе	31
Звездная ассоциация в Цефее	34
Холодные сверхгиганты в О-ассоциациях	37
Кратные системы типа Трапедии	41
Звездные системы с положительной полной энергией	69

Космогония

Космогония и современная астрофизика	81
Эволюция звезд и астрофизика	96
Звездные ассоциации и происхождение звезд	123
О протозвездах	137
Вводный доклад на симпозиуме по эволюции звезд	143
О происхождении двойных звезд	164
О проблеме происхождения звезд	168

Нестационарные процессы в звездах

Явление непрерывной эмиссии и источники звездной энергии	189
О природе звезд типа Т Тельца	213
О природе кометообразных туманностей	223
Звезды типов Т Тельца и UV Кита и явление непрерывной эмиссии	233
О плотных облаках релятивистских электронов	242

Внегалактическая астрономия

Некоторые замечания о кратных галактиках	251
О кратных галактиках	254
О светимостях радиогалактик	276
Голубые выбросы и спутники эллиптических галактик	283
О двуйдерных галактиках	291
Голубые объекты около эллиптических галактик	295
Об эволюции галактик	298

Звездные конфигурации

О вырожденном сверхплотном газе элементарных частиц	331
---------------------------------------------------------------	-----

Список научных трудов

Список научных трудов В. А. Амбарцумяна	359
---------------------------------------------------	-----

ВИКТОР АМАЗАСПОВИЧ АМБАРЦУМЯН

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ

Том второй

Редактор Л. В. МИРЗОЯН
Худ. оформление К. Т. ТИРАТУРЯНА
Техн. редактор М. А. КАПЛАНЯН
Корректор В. Б. АНДРЕАСЯН

ВФ 03145. РИСО 589, Изд. 1769, Заказ 502, Тираж 2500

Слано в производство 31/XII 1959 г. Подписано к печати 3/VIII 1960 г.

Бумага 70×108³/₁₆, печ. л. 22,70, изд. л. 22,2 + 2 вкл.

Цена с переплетом 17 р. 55 к.

С 1/I 1961 г. цена 1 р. 76 к.

Типография Издательства Академии наук Армянской ССР
Ереван, ул. Барекамутян, 24

ЗАМЕЧЕННЫЕ СУЩЕСТВЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
11	1-я снизу	представляется	представится
11	19-я сверху	$= \frac{P_0^2}{3}$	$= \frac{P_0^3}{3}$
164	1-я снизу	9516	1956
240	16-я сверху	интенсивности	интенсивной
260	1-я сверху	трапеций среди кратных систем может оказать значительное влияние	лактинк. Однако следует учитывать, что на численное значение процента
267	12-я снизу	$2 M_{\odot}$	$1/2 M_{\odot}$

287 На схеме 1 центры сгущений А и В должны быть на продолжении струи.

322 2-я сверху строка должна быть четвертой.