

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.).