

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^2 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 О-ассоциациях и в звездных скоплениях резко отличается от функций светимости звезд общего галактического поля в том смысле, что в О-ассоциациях и скоплениях процент звезд низких светимостей относительно мал. Поскольку среди звезд общего поля средний возраст гораздо больше, чем в О-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).