

В. А. АМБАРЦУМЯН

ФИЛОСОФСКИЕ ВОПРОСЫ  
НАУКИ О ВСЕЛЕННОЙ

Ереван 1973

Сборник включает доклады, выступления и статьи академика В. А. Амбарцумяна, в которых рассматриваются философские вопросы современной астрономии и естествознания.

Сборник состоит из двух частей. В первой части собраны труды, посвященные проблемам философии и методологии науки о Вселенной. Во вторую часть включены труды астрономического содержания, близко касающиеся упомянутых проблем.

Некоторые итоги развиваемого автором подхода к проблемам естествознания даны в его Ломоносовской лекции, помещенной в конце сборника.

ժողովածուն քննարկում է ակադեմիկոս Վ. Հ. Համբարձումյանի այն գեկուցումները, ելույթները, և հոդվածները որոնցում բննաբանական են ժամանակակից աստղագիտության և բնագիտության փրիսոփայական հարցերը:

ժողովածուն բաղկացած է երկու մասից: Առաջին մասում հավաքված աշխատությունները նվիրված են արեգակնագիտության փրիսոփայական և մեթոդոլոգիական պրոբլեմներին: Երկրորդ մասում տեղ են գտել աստղագիտական բովանդակության այն աշխատությունները, որոնք սերտորեն առնչվում են հիշյալ պրոբլեմներին:

Բնագիտության պրոբլեմներին հեղինակի մշակած մոտեցման առջ արդյունքներ բերված են նրա լումոնոսովյան դասախոսության մեջ, որը տրված է ժողովածուի վերջում:



ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱ  
ՓԻԼՍՈՓԱՅՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԻՐԱՎՈՒՆՔԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

Վ. Հ. ՀԱՄԲԱՐՉՈՒՄՅԱՆ

# ՏՐԵՉԵՐԱԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՓԻԼՍՈՓԱՅԱԿԱՆ ՀԱՐՅԵՐԸ

ՁԵԿՈՒՑՈՒՄՆԵՐԻ, ԵԼՈՒՅԹՆԵՐԻ ԵՎ ՀՈԴՎԱԾՆԵՐԻ ՀԱՎԱՔԱԾՈՒ

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԱ ՀՐԱՏԱՐԱԿՉՈՒԹՅՈՒՆ  
ԵՐԵՎԱՆ 1973

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР  
ИНСТИТУТ ФИЛОСОФИИ И ПРАВА

В. А. АМБАРЦУМЯН

# ФИЛОСОФСКИЕ ВОПРОСЫ НАУКИ О ВСЕЛЕННОЙ

СБОРНИК ДОКЛАДОВ, ВЫСТУПЛЕНИЙ И СТАТЕЙ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АН АРМЯНСКОЙ ССР  
ЕРЕВАН 1973

$\frac{1M + 5}{A 61}$

*Под редакцией и с примечаниями*  
**Л. В. МИРЗОЯНА**

$A \frac{0152 - 064}{703(02) - 73} 7 - 73$  © Издательство АН Армянской ССР. 1973 г.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

*Не без колебаний я согласился с предложением моих друзей — философов и естественников издать в виде сборника те из моих статей, которые касаются философских вопросов современной астрономии и естествознания. Причиной моих колебаний является то, что мои взгляды на многие астрономические проблемы и проблемы философии естествознания прошли определенный путь развития, и содержание статей, изданных в разное время, не всегда находится в точном согласии друг с другом. Однако, просмотрев все статьи, я убедился, что все же они довольно хорошо выражают одну общую линию—стремление понять глубокие закономерности развития Вселенной. Именно это стремление и заставляло меня наряду с выполнением специальных работ часто возвращаться к вопросам методологии естествознания и к его основным принципам.*

*Все-таки, конечно, пришлось отобрать лишь некоторую часть опубликованных статей. Большая часть оставшихся вне этого сборника — либо узко специальные астрофизические исследования, либо же разъяснение тех положений, которые изложены в статьях сборника.*

*Сборник состоит из двух частей. В первой собраны статьи, где рассматриваются более широкие проблемы философии и методологии естествознания. Во второй напечатаны те мои статьи астрономического содержания, которые все же близко касаются тех же проблем.*

*Некоторые итоги развиваемого мною подхода к проблемам моей специальности даны в последней статье сборника*

**В. А. АМБАРЦУМЯН**



# РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ



## НЕКОТОРЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ КОСМОГОНИИ\*

Проблема происхождения и развития небесных тел принадлежит к числу важнейших вопросов современного естествознания. По своему значению для научного мировоззрения и для развития наших философских взглядов она стоит в ряду таких кардинальных проблем, как проблемы строения вещества, происхождения жизни, механизма наследственности и др.

Сказать, что проблема происхождения и развития небесных тел является лишь одной из важнейших в астрономии, означало бы недооценить ее значение. В самом деле, основной целью всех астрономических и астрофизических исследований является познание природы небесных тел и тех систем, которые они составляют. Однако диалектический материализм учит, что глубокое познание явлений природы становится возможным лишь тогда, когда эти явления изучаются в их изменениях и развитии. Поэтому глубокое познание небесных тел (планет, звезд, туманностей, галактик) возможно только тогда, когда эти тела рассматриваются в их изменении и развитии. Отсюда следует, что космогоническая проблема является основной задачей астрономии и астрофизики. Каждая частная, но имеющая принципиальное значение

---

\* Первый раздел этой работы представляет собой доклад на Всесоюзном совещании по философским вопросам естествознания (Москва, октябрь, 1958 г.), напечатанный и розданный участникам совещания. Далее следуют выступление и заключительное слово автора на этом совещании. Весь текст печатается по книге «Философские проблемы современного естествознания» (Труды Всесоюзного совещания по философским вопросам естествознания), М., АН СССР, 1959, стр. 268—283, 283—290, 575—576.

астрономическая задача неизменно приобретает в процессе решения космогонический смысл.

Отсюда вовсе не следует, что отдельные вопросы астрономии не могут быть отделены с целью их практического разрешения от общих космогонических вопросов. Наоборот, это вполне возможно и часто делается. Например, для разрешения вопросов службы времени и многих других практических задач оказывается целесообразным условное отделение проблем позиционной астрономии от глубоких вопросов космогонии. Такое условное отделение практически себя вполне оправдало.

Однако условность этого отделения очевидна из того факта, что сколько-нибудь глубокое рассмотрение вопросов позиционной астрономии сразу приводит к таким фундаментальным задачам, как задачи о возникновении наблюдаемого ныне распределения скоростей звезд в Галактике, о характере движения звезд в ассоциациях и звездных скоплениях и др.

Можно привести и многие другие примеры, показывающие, что отделение тех или иных крупных астрономических вопросов от космогонической проблемы целесообразно только как условное, имеющее целью решение тех или иных конкретных задач, но не принципиальное. Тем самым подтверждается фундаментальная роль космогонической проблемы для всей астрономии и астрофизики.

Отсюда ясно, что говорить о методологических вопросах «современной космогонии»\*—значит говорить об основных

---

\* Под словом «космогония» В. А. Амбарцумян понимает науку о возникновении и развитии небесных тел и их систем, в отличие от многих ученых, рассматривающих космогонию как науку, разрабатывающую, в основном, умозрительные гипотезы для объяснения различных космических явлений, в частности происхождения небесных тел. По его мнению, наоборот, разработка космогонических представлений должна базироваться, главным образом, на анализе и обобщении данных астрономических наблюдений. О плодотворности этого нового направления в космогонии свидетельствуют, в частности, результаты исследований автора и его учеников, изложенные в статьях настоящего сборника. Систематическое изложение результатов этих исследований приводится в книге коллектива авторов «Проблемы современной космогонии», под редакцией В. А. Амбарцумяна, Наука, М., 1972 (2-е издание).

методологических вопросах современной астрономии и астрофизики.

Это необходимо подчеркнуть, поскольку иногда в работах, посвященных вопросам истории и методологии астрономической науки, под космогоническими исследованиями неправильно понимают лишь разработку более или менее умозрительных космогонических гипотез, объясняющих тот или иной круг космических явлений.

Исходя из материалистической позиции, согласно которой научные теории должны строиться на фактах, добытых наукой и полученных из наблюдений и опыта, мы считаем правильной другую точку зрения, согласно которой каждое глубокое астрономическое исследование, вносящее принципиально новое в изучение Вселенной, имеет космогоническую ценность и является космогоническим исследованием.

Признавая большую роль умозрения для развития науки, все же нужно сказать, что иногда серьезное, конкретное астрономическое исследование, даже не претендующее на решение каких-либо космогонических задач, представляет гораздо большую ценность для космогонии, чем целая пачка плохих космогонических гипотез. Подчеркиваю снова, что речь идет не об осуждении гипотез вообще, а о недопустимости недооценки космогонического значения конкретных открытий и исследований в области астрономии и астрофизики.

Следует иметь в виду, что именно в тех областях, где намечается обнаружение новых закономерностей, противоречащих старым, глубоко укоренившимся понятиям, мы всегда располагаем на начальном этапе исследования сравнительно скудными фактическими данными, что вызывает появление большого числа различных гипотез, иногда мало обоснованных, иногда более серьезных, но всегда открывающих большой простор для оторванных от реальности умозрительных построений.

Через подобного рода умозрительные, спекулятивные построения проникают в науку антинаучные, идеалистические и механистические взгляды и концепции. Именно в тех случаях, когда фактических данных, связанных с новыми невыявленными закономерностями природы, еще мало, появляются на сцене идеалисты, которые стремятся увидеть в необъясненных еще явлениях результат того, что эти явления якобы зависят от сознания познающего субъекта или являются прояв-

лением какой-либо потусторонней сверхъестественной силы, чего-то непознаваемого. С другой стороны, в таких случаях появляются механисты, которые недооценивают глубокое, принципиальное значение новых открытий, не понимают необходимости пересмотра старых воззрений и того, что природа на самом деле во много раз глубже и сложнее, чем сложившиеся к данному моменту наши представления о ней, что именно вследствие того, что она существует независимо от сознания, наша наука о природе, как бы она ни казалась совершенной, на самом деле является лишь приближенным отражением ее и притом лишь отражением некоторой ограниченной области в той или иной степени изученных явлений. Вследствие этого механисты стремятся упростить, дать вульгарное и тем самым антинаучное истолкование новых фактов.

Однако в истории науки всегда получается так, что побеждает научный, материалистический подход к вопросу. Обнаружение новых закономерностей, незнание которых окрашивало неким таинственным цветом не объясненные перед этим явления, вскрывает всегда глубокую диалектику в существующей независимо от нас объективной реальности, приносит новые доказательства бесконечной глубины и бесконечного разнообразия явлений природы.

Вспомним положение вопроса о красном смещении в спектрах внегалактических туманностей в тридцатых и сороковых годах нашего столетия. Большинство астрономов и физиков восприняло тот факт, что величина красного смещения приблизительно пропорциональна расстоянию и остается таковой до предела достижимости современных телескопов, как прямое свидетельство того, что отдаленные внегалактические туманности удаляются от нас со скоростями, приблизительно пропорциональными их расстоянию от нас. Очевидно, что это приводит к заключению о расширении Метагалактики, т. е. той большой системы галактик, в которую входят, по-видимому, все или во всяком случае большинство доступных нашему наблюдению внешних звездных систем (галактик).

Этот новый неоспоримо установленный факт свидетельствует, что здесь мы имеем дело с явлениями, которые не охватываются известными закономерностями физики и астрономии; их изучение должно повести за собой вскрытие новых, более глубоких закономерностей макромира, значение

которых для систем меньшего масштаба не является столь заметным, как в данном случае. Естественно, что по этому вопросу возникло большое число различных гипотез.

Грубо упрощая явления, предполагая, что Метагалактика является идеально однородной, и произвольно допуская, что она представляет собой систему, заполняющую всю Вселенную, ряд физиков и астрономов, используя аппарат теории тяготения Эйнштейна, пришел к заключению о так называемой конечной и расширяющейся Вселенной. Отсюда уже философы-идеалисты и физики, стоящие на тех же философских позициях, делали заключения о моменте творения мира и о таинственной силе, ответственной за это творение. Было совершенно ясно, что отсутствие достаточных сведений о строении Метагалактики или недостаточно точные сведения о ней, неправильные представления о ней, имевшиеся у тех, кто был плохо знаком с даже скудными фактами того времени,—все это дало простор для необузданных экстраполяций, которые увели эти гипотезы довольно далеко от настоящей науки, в область идеализма.

С другой стороны, появились попытки совершенно замазать значение нового, и при этом принципиально нового, явления природы. Без какого-либо экспериментального основания пытались утверждать, что красное смещение не связано с эффектом Доплера, а имеет какую-то другую причину. Тем самым пытались, по существу, затормозить появление новой науки о Метагалактике, вскрывающей новые закономерности макромира.

Но никакого другого удовлетворительного объяснения красного смещения не удалось найти\*. С другой стороны, его объяснение на основе эффекта Доплера оказалось в полном согласии с другими данными внегалактической астрономии. А недавнее обнаружение красного смещения линии нейтрального водорода длиной в 21 см, наблюдаемой радиометодами у радиогалактики Лебедь А, подтвердило, что изменения красного смещения в огромном диапазоне длин волн от ультрафиолета до дециметровой области точно следуют фор-

---

\* Все попытки объяснения явления красного смещения другими физическими процессами были безуспешными и в настоящее время доплеровская природа наблюдаемых красных смещений в спектрах галактик не вызывает никаких сомнений.

муле, основанной на принципе Доплера. Поэтому можно сказать, что взгляды механистов и консерваторов, упрямо не желавших признавать явление расширения Метагалактики, потерпели полнейший крах.

Но не в лучшем положении оказались и те, которые строили выдуманные схемы однородной, расширяющейся Вселенной. Если двадцать лет тому назад можно было пытаться оправдать гипотезу об однородной плотности Вселенной тем, что, при отсутствии достаточных данных о распределении удаленных галактик, предположение об однородности Метагалактики является естественным, хотя, может быть, и очень грубым приближением, и если в то время такой взгляд находил некоторую опору в подсчетах Хаббла, то теперь положение коренным образом изменилось. Новые данные, касающиеся видимого и пространственного распределения галактик, оказались в полнейшем противоречии с предположением об однородности, хотя бы весьма грубо приближенной. Мне кажется, что если попытаться двумя словами охарактеризовать то представление о распределении галактик, которое начинает складываться за последние годы на основе новейших данных, то наиболее удачным выражением будет «крайняя неоднородность». Иными словами, положение таково, что ни в каком отношении гипотеза об однородности не может служить основой для каких-либо расчетов, относящихся к физическим явлениям, происходящим внутри Метагалактики.

Попытаемся охарактеризовать состояние дела несколько более подробно.

Уже было известно, что в составе Метагалактики имеются скопления галактик и некоторые более бедные, в смысле их числа, образования, которые можно назвать группами галактик. Двадцать лет тому назад можно было считать, что указанные скопления и группы являются лишь островками в обширном общем метагалактическом поле. Конечно, относительно этого общего метагалактического поля не было доказано, что оно однородно. Оно могло, например, иметь какой-либо непрерывный градиент, соответствующий медленным изменениям плотности. Однако произведенные в начале пятидесятых годов подсчеты и статистические исследования привели к заключению, что тенденция к образованию групп и



скоплений является основной характеристикой Метагалактики.

Следует отметить, что тенденция к скучиванию особенно хорошо заметна в той части Метагалактики, которая непосредственно окружает нашу Галактику. Сама наша Галактика является членом некоторой Местной системы галактик, представляющей собой изолированную в пространственном отношении систему. Такими же более или менее изолированными системами являются скопления галактик в Деве, в Волосах Вероники и в Персее. Расстояния от нас до этих ближайших скоплений очень велики по сравнению с диаметрами скоплений и, в частности, с диаметром Местной системы галактик. Правда, казалось, что имеются отдельные изолированные галактики, расположенные ближе к Местной системе, чем указанные скопления. Но исследование показало, что и такие «изолированные» галактики на самом деле вовсе не являются изолированными, а окружены группами не менее ярких галактик. Так, например, яркие галактики М 81 и М 101 расположены гораздо ближе, чем скопление Девы, но как оказывается, они являются центрами сравнительно небольших групп галактик, обладающих меньшей светимостью. Поскольку М 81 и М 101 являются галактиками сверхгигантами, а в окружающих их группах других сверхгигантов нет, то и получается неправильное представление об их якобы изолированности.

Таким образом, возникло новое представление о том, что Метагалактика в основном состоит из скоплений и групп галактик. По-видимому, можно утверждать, что большая часть вещества Метагалактики, если не подавляющая ее часть, входит в эти скопления. Однако можно было бы попытаться спасти гипотезу об однородности Метагалактики, приняв, что эта однородность имеет место в более крупных масштабах, т. е. что в пространстве с одинаковой плотностью распределены не сами галактики, а центры их скоплений. Однако и такое допущение оказывается совершенно неправильным. Скопления галактик иногда образуют двойные и тройные системы, а согласно Вокулёру, ближайшие скопления галактик образуют гигантскую сплюснутую систему, составляющую одну из частей Метагалактики.

Рассмотрение карт Паломарского атласа показывает, что распределение галактик до 18-й величины является край-

не неоднородным даже на одной и той же галактической широте. Это хорошо подтверждается подсчетами Шена и Виртанена, основанными на Ликских снимках. Плотность распределения на небе на одной и той же галактической широте меняется в десять раз и более, а учитывая сглаживающее влияние проектирования, следует сказать, что изменения реальной пространственной плотности в соответствующих направлениях, вероятно, достигают сотни раз и более. Но галактики до 18-й величины находятся в среднем на расстояниях порядка ста миллионов парсек, т. е. около трехсот миллионов световых лет. Именно на таких больших расстояниях мы наблюдаем огромные изменения плотностей распределения, что никак нельзя объяснить лишь одним существованием скоплений. Для галактик более слабых мы еще не знаем даже грубой закономерности пространственного распределения. Однако и здесь нет пока оснований для предположения об однородности. Поэтому в деле изучения Метагалактики основным вопросом является проблема ее пространственной структуры, решение которой и будет означать полный отказ от старых представлений об однородности. В таких условиях всякое теоретическое изучение свойств Метагалактики, основанное на предположении о равномерной плотности, должно приводить к неправильным выводам.

При рассмотрении вопроса о расширении Метагалактики обычно принимается также, что оно является изотропным и равномерным, т. е. что скорость взаимного удаления двух любых галактик друг от друга равна универсальной постоянной, умноженной на расстояние между ними в данный момент.

Поскольку внутри каждого скопления галактик имеется значительная дисперсия скоростей, то такое предположение может в лучшем случае считаться справедливым лишь в некотором приближении. Возникает мысль, что утверждение о пропорциональности скорости расстоянию справедливо в отношении движения центров тяжести скоплений галактик. Однако изучение вопроса показывает, что и здесь речь идет лишь о самом грубом приближении.

Чтобы доказать пропорциональность красного смещения расстоянию, надо уметь с некоторой степенью точности определять расстояния внешних галактик. К сожалению, эта точность пока еще мала. Ошибки в полтора или два раза

здесь вполне возможны; ошибка в логарифме расстояния, например, может достигать до 0,3. Я не хотел бы, чтобы считали, что я отдаю дань пессимистам от науки. Как раз наоборот. Такая точность определения расстояния для объектов, находящихся от нас на расстоянии до двух-трех миллиардов световых лет, является величайшим достижением науки и опровержением всякого рода агностицизма, но эта точность недостаточна для того, чтобы судить о том, насколько строго выполняется закон красного смещения, т. е. насколько точно скорость удаления галактик пропорциональна их расстоянию.

Всего пять лет тому назад Бааде установил необходимость пересмотра шкалы расстояний внешних галактик. Оказалось, что все ранее определенные в Местной системе галактик расстояния должны быть увеличены в два раза. Отсюда возникла необходимость внесения надлежащих изменений в оценки расстояния и всех других, более отдаленных объектов Метагалактики. Если бы дело ограничивалось этим, то это повлияло бы лишь на значение постоянной пропорциональности в законе красного смещения и уменьшило бы это значение в два раза, не внося новых сомнений в вопрос о степени строгости этого закона. Но два-три года тому назад стало ясно, что поскольку расстояния галактик, находящихся вне нашей Местной системы, определяются иными способами, чем расстояния более близких объектов, необходимо подвергнуть новому пересмотру вопрос о расстоянии отдаленных внешних галактик\*. Выяснилось, что прежние расстояния галактик, находящихся в отдаленных скоплениях, необходимо увеличить почти в три раза, если не больше. При этом остается еще некоторая неуверенность в определении этого поправочного коэффициента, обусловленная тем, что индивидуальные расстояния отдельных отдаленных галактик и даже их скоплений весьма трудно определить. Такое положение с вопросом о значении постоянной закона красного смещения косвенно свидетельствует о том, что пока еще трудно разрешить вопрос о степени точности этого закона в отношении отдельных галактик. Тем не менее

---

\* Со времени работы Бааде в результате уточнения величины постоянной Хаббла все внегалактические расстояния увеличились еще, по крайней мере, в четыре раза.

следует сказать, что связь между величиной красного смещения и видимой звездной величиной наиболее ярких галактик в богатых скоплениях довольно хорошо свидетельствует в пользу выполнения закона красного смещения для этих скоплений с точностью до 10—15%. Поэтому результаты данных, касающихся закона красного смещения, можно было бы сформулировать следующим образом: совокупность богатых скоплений галактик, расположенных в некотором объеме пространства вокруг нас, расширяется приблизительно однородно и изотропно, хотя распределение этих скоплений в пространстве, как указывалось выше, далеко не является однородным.

Сделанные выше критические замечания, относящиеся к попыткам построения теорий Вселенной в целом, имеющей равномерную плотность, отнюдь не означают, что исследования некоторых формальных решений уравнений тяготения Эйнштейна, при некоторых идеальных, воображаемых условиях, не имеют никакого смысла. Отнюдь нет. Дело только в том, что следует правильно расценивать значение этих решений.

Тот факт, что при определенных условиях нет устойчивых, стационарных решений, а также самый характер решений, найденных Фридманом, то же и относятся к упомянутым выше идеальным, воображаемым условиям, однако, несомненно, имеют прямое отношение к наблюдаемому явлению расширения окружающей нас совокупности галактик. Как уже можно считать непосредственно установленным, линейные размеры этой совокупности достигают миллиардов парсек. Как ни оценивать среднюю плотность этой совокупности, все же получается, что ее гравитационный радиус оказывается величиной, сравнимой с этими линейными размерами. Поэтому эффекты, вытекающие из теории тяготения Эйнштейна, должны иметь для Метагалактики весьма существенное значение. Свойства решений уравнений тяготения должны находить свое отражение в особенностях Метагалактики. Одной из таких особенностей и является расширение окружающей нас совокупности галактик.

Однако более конкретную картину расширения можно получить из указанных уравнений только в том случае, если в них подставить те начальные условия, которые соответствуют состоянию окружающей нас системы галактик. Эта

трудная работа еще должна быть выполнена. Подстановка же в эти уравнения некоторых воображаемых, идеализированных начальных условий, хотя и позволяет обнаружить некоторые интересные свойства решений уравнений тяготения, тем не менее не может дать правильного описания явлений в Метагалактике.

К счастью, в настоящее время, благодаря введению в действие целого ряда телескопов системы Шмидта, началось быстрое накопление фактических данных, относящихся к различным вопросам внегалактической астрономии. Не меньшее значение имеют данные, которые получаются из радионаблюдений. Поэтому в ближайшие годы материал для суждения о проблемах Метагалактики будет весьма расширен и в результате этого различные теории и гипотезы гораздо более обоснованы.

Если в области внегалактической астрономии ограниченность фактических данных служила до сих пор серьезным препятствием для развития теории, то в области галактической астрономии и, в частности, физики звезд положение было совершенно иным.

За последние десятилетия, благодаря накоплению большого количества данных о спектрах сотен тысяч звезд, имели место большие успехи в области их спектральной классификации. Спектры нескольких тысяч звезд явились предметом отдельных монографических исследований. На основе изучения спектра создается более или менее точное представление о физическом состоянии атмосферы звезды, а также о численных значениях некоторых параметров, характеризующих состояние звезды в целом. Полученные таким образом данные, естественно, должны лечь в основу теории происхождения и развития звезд, составить основу звездной космогонии.

Конечно, и в этом случае мы встречаемся с трудностью, характерной для всех космогонических проблем и заключающейся в том, что промежутки времени, в течение которых происходят значительные изменения в состоянии звезд, как правило, очень велики по сравнению с длительностью периода астрономических наблюдений, производимых людьми. Поэтому основной задачей звездной космогонии должно быть такое сопоставление данных, касающихся различных звезд и туманностей, которое сделает возможным ответ на вопрос,

как перемещается звезда в течение своей эволюции по диаграмме звездных состояний и каково начальное состояние звезды, только что образовавшейся из дозвездного вещества. Другим, более трудным вопросом является проблема природы дозвездного вещества и его роли в космогонии всей Галактики.

Конечно, и в этой области, особенно в начальный период, были попытки идти почти чисто умозрительным путем, основываясь лишь на некоторых представлениях о внутреннем строении звезд. Можно упомянуть здесь различные схемы, предложенные в свое время Расселом, Джинсом и Эддингтоном. Однако скоро стало совершенно очевидно, что подобного рода чисто умозрительные построения приводят лишь к оторванным от действительности упрощенным схемам.

Наблюдения позволили установить, что совокупность различных состояний звезд чрезвычайно многообразна и что она не может быть расположена в простую линейную схему. Стало ясно, что приходится считаться с многообразием путей звездной эволюции на диаграмме звездных состояний, что, очевидно, означает также разнообразие начальных состояний. При таком положении чисто эмпирический подход, когда сопоставление наблюдательных данных производится без всяких теоретических расчетов, относящихся к характеру возможных изменений в состоянии звезды, также должен был встретить и действительно встретил значительные трудности. Поэтому нам кажется, что наиболее плодотворным является такой подход к разрешению проблем звездной космогонии, когда обобщение и анализ имеющегося необозримого эмпирического материала производится путем привлечения аппарата современной теоретической физики и астрофизики, для чего приходится вести постоянно математические расчеты для проверки тех или иных гипотез и предположений.

Кажется совершенно бесспорным, что, пользуясь методами теоретической астрофизики, основываясь на данных теоретической физики, позволяющих исследовать поведение вещества при высоких температурах и давлениях, мы можем рассчитать внутреннее устройство любой звезды, когда известны некоторые внешние параметры, характеризующие ее. Выражаясь коротко, мы можем построить математическую «модель» звезды и даже рассчитать, как эта модель должна меняться со временем. Казалось бы, это наиболее правильный

путь решения задач звездной космогонии. Однако этот «метод моделей» не оказался очень плодотворным. Причина заключается в том, что вследствие большой сложности задачи приходится вводить на разных этапах расчетов ряд более или менее произвольных упрощений, относящихся к свойствам вещества во внутризвездных условиях. Это вносит большую неоднозначность в такие модели. Более того, многие явления, относящиеся к физике элементарных частиц, еще плохо изучены. Совершенно невозможно поэтому предвидеть роль этих явлений в жизни звезды. Из-за этого всякая построенная нами модель должна поневоле основываться на предположении, что эти неизученные явления не играют существенной роли в жизни звезды.

У различных авторов могут быть различные оценки степени полноты наших знаний, касающихся поведения вещества внутри звезды. Однако малая плодотворность огромного числа произведенных до сих пор по методу моделей исследований, говорит о том, что их оценка должна быть более строгой. Вместе с тем не следует упускать из виду, что различные звезды имеют различное строение. Поэтому вполне возможно, что для одних звезд имеющиеся представления о строении вещества вполне достаточны для построения моделей, а для других—явления, которые мы еще не умеем предвидеть и рассчитать, могут играть существенную роль.

Чтобы не подходить слишком отвлеченно к вопросу о значении чисто умозрительных моделей, приведу следующий конкретный аргумент: в наблюдаемом излучении некоторых звезд, получивших в последнее время название «нестационарных», имеет место явление так называемой непрерывной эмиссии. Это явление доминирует в энергетике внешних слоев многих из этих звезд. С другой стороны, известно, что существующая теория строения внешних слоев звезд (звездных атмосфер) разработана гораздо лучше, чем теория внутреннего строения звезд. Несмотря на это, теория внешних слоев звезд не только не сумела предсказать указанное явление непрерывной эмиссии, а тем более его фундаментальную роль для атмосфер некоторых звезд, но даже и сейчас, когда многие подробности этого явления изучены на основе наблюдения, не может объяснить физическую причину этих явлений. Было бы нелепо считать, что, переходя в область внутреннего строения звезд, мы не должны встретиться с

подобными случаями, т. е. с явлениями, которые либо мы еще не умеем объяснять на основе известных данных теоретической физики, либо же нельзя объяснить на основе этих данных, поскольку в них могут играть роль принципиально новые, еще не вскрытые теоретической физикой закономерности природы.

Вместе с тем следует отметить, что методологический подход, при котором производится анализ и обобщение эмпирического материала на основе использования данных теоретической физики, оказался наиболее плодотворным с космогонической точки зрения. Приведу некоторые примеры.

Анализ эмпирических данных, касающихся двойных и кратных звезд, произведенный с привлечением некоторых результатов статистической механики, позволил совершенно однозначно решить один из основных вопросов космогонии двойных и кратных звезд\*. Речь идет о том, образовались ли двойные и кратные системы путем взаимного захвата ранее возникших независимо друг от друга звезд, или же компоненты каждой кратной системы имеют общее, совместное происхождение. Ответ оказался вполне определенным как для тесных, так и для широких пар. Компоненты имеют общее происхождение. Исключение могут составлять лишь очень редко встречающиеся сверхширокие пары с расстоянием между составляющими более тридцати тысяч астрономических единиц. Тот факт, что после решения этого вопроса некоторые авторы продолжали разрабатывать гипотезы о захвате, основанные на чисто умозрительных построениях, останется навсегда любопытным курьезом в истории науки.

Сопоставление эмпирических данных, касающихся изменений блеска и спектра звезды  $\gamma$  Кассиопея, с теоретическими представлениями об излучении разреженных газовых масс, находящихся вблизи звезд, позволило сделать тонкие выводы, относящиеся к повторяющимся выбросам газовых оболочек из горячих звезд с эмиссионными линиями.

Сопоставление эмпирических данных о радиоизлучении и визуальном свечении Крабовидной туманности с теорией «светящегося электрона» позволило объяснить происхождение излучения Крабовидной туманности как результат свече-

---

\* См. статью «Эволюция звезд и астрофизика», стр. 213 настоящего сборника.



ния релятивистских электронов в магнитном поле. Это объяснение нашло прямое подтверждение в открытии высокой степени поляризации света Крабовидной туманности.

Сопоставление наблюдательных данных, относящихся к движению звезд ассоциации Ориона, с данными галактической динамики привело к выводу, что звезда АЕ Возничего является объектом, уходящим из нашей Галактики. Отсюда можно сделать бесспорное заключение, что если не все звезды, обладающие скоростями, достаточными для ухода из нашей Галактики, то по крайней мере часть из них с самого начала возникла с такими энергиями, а вовсе не получила ее в результате взаимодействия с другими объектами Галактики, как это предполагали некоторые авторы. Можно привести и другие, даже более эффектные примеры плодотворности применения теории к анализу эмпирического материала.

Из сказанного не следует вовсе, что абстрактная разработка моделей не может дать плодотворных результатов вообще. Но нам кажется, что эти результаты могут получаться более успешно, если этот метод будет сочетаться с тщательным анализом наблюдательных данных. В этой связи нельзя не упомянуть о применении результатов теории внутреннего строения звезд к проблеме эволюции звездных скоплений, особенно шарообразных. Хотя выводы Шварцшильда, разработавшего это направление, еще нуждаются в более решительном подтверждении, все же несомненно, что они являются существенным вкладом в решение рассматриваемой задачи.

Правильный подход к вопросам звездной космогонии получает все более широкое применение, что должно обеспечить последовательное решение большого числа космогонических проблем. Мы можем гордиться, что именно в Советском Союзе достигнуты в этом направлении наибольшие успехи. Этот факт вполне понятен, поскольку основой мировоззрения советских астрономов является диалектический материализм, постоянно обогащающийся новым содержанием на основе развития конкретных научных дисциплин и практики коммунистического строительства. Нет сомнения, что методологический анализ последнего этапа в развитии естествознания поможет советским астрономам в дальнейшем развитии своих успехов в области звездной космогонии, тех

успехов, которые, в частности, привели к доказательству продолжающегося процесса звездообразования в нашей Галактике\*.

В последней части своего доклада я хотел бы остановиться на космогонии Солнечной системы, т. е. на вопросе, который включает в себя проблему происхождения нашей Земли.

Фактом, сильно затрудняющим решение рассматриваемой проблемы, является то, что более или менее подробные сведения имеются лишь в отношении одной нашей планетной системы. Нет сомнений, что в Галактике существует множество планетных систем вокруг других звезд. Об этом свидетельствуют многочисленные косвенные данные. Однако об этих планетных системах мы не имеем даже самых скудных сведений. Приходится судить о происхождении и развитии объекта, который известен нам только в одном экземпляре. Естественно, что это требует весьма тщательного изучения всех фактических данных, относящихся к большим планетам, к малым планетам и к кометам. Особенно большое затруднение связано с тем, что нам ничего не известно о начальном состоянии планетной системы.

Таким образом, положение здесь сильно отличается от положения звездной космогонии. Трудно рассчитывать, что сразу чисто умозрительным путем можно будет воссоздать как начальное положение, так и всю последовательную совокупность этапов развития, через которые прошла планетная система. Поэтому трудно надеяться и на успех большого количества так называемых космогонических гипотез, которые строятся чисто умозрительным путем. Заметим, кстати, что наиболее популярные среди этих гипотез имеют либо одного адепта—автора этой гипотезы, либо очень небольшую группу сторонников. Однако нам кажется, что развитие представления о происхождении Солнечной системы может быть весьма плодотворным, если будет вестись планомерная работа по исследованию космогонических вопросов, относящихся к отдельным объектам.

Я здесь перечислю несколько таких вопросов.

---

\* О доказательствах продолжающегося процесса звездообразования в нашей Галактике, а также в других галактиках см. статьи второго раздела настоящего сборника.

1. Происхождение метеорных тел в Солнечной системе. Этот вопрос тесно соприкасается с проблемой связи между кометами и метеорами, постановка которой восходит еще к Бредихину. Быстрое накопление данных в этой области позволяет считать это направление многообещающим.

2. Еще более заманчивым представляется исследование вопроса о происхождении коротко-периодических комет, поскольку имеются серьезные доказательства в пользу того, что жизнь их не может быть очень длительной. Необходимо всемерно поддерживать развитие этой традиционной ветви в советской астрономии.

3. Сравнительное исследование состава атмосфер различных планет для выяснения причин, приведших к наблюдаемым различиям.

4. Вопрос о происхождении деталей лунной поверхности, где наблюдаются чрезвычайно интересные закономерности.

5. Пожалуй, наиболее важным следует считать вопрос об эволюции Земли, разрабатываемый на основе данных эволюционной геологии и эволюционной геофизики.

Некоторым объяснением бесплодности многих работ в области планетной космогонии является следующее: данные, касающиеся основных сторон строения планетной системы как системы материальных точек, были уже давно известны. Эти известные закономерности были использованы Лапласом для построения своей космогонии. Гипотеза Лапласа была крупнейшим достижением своего времени, но она далеко не отвечает современному состоянию науки. В настоящее время трудно рассчитывать, что решение задачи может быть получено сразу в результате одной, хотя бы даже самой глубокой работы по обобщению новых данных. Очевидно, что, как и в звездной космогонии, дело должно начаться с решения отдельных, частных задач, хотя они могут иметь сами по себе и самостоятельное значение. Примеры подобных задач были перечислены выше.

Наконец, для решения проблемы космогонии планетной системы следует иметь в виду следующее: Солнце является одной из звезд и наличие вокруг Солнца планетной системы, по-видимому, следствие закономерностей его развития. Поскольку закономерности развития звезд рассматриваются в звездной космогонии, которая уже сейчас имеет значительные успехи, следует думать, что понимание ее проблем может

сильно содействовать выяснению различных вопросов, относящихся к развитию звезд. Хотя, конечно, закономерности образования планет должны иметь свою особую специфику, все же именно от звездной космогонии следует ожидать объяснения возникновения тех условий, при которых становится возможным образование планет. Иными словами, от звездной космогонии можно ждать помощи как раз в вопросе о начальной фазе образования планет.

Это особенно важно, так как во многих космогонических проблемах вопрос о начальной фазе представляет наибольшие трудности.

Следует отметить, что сторонники той или иной космогонической гипотезы с течением времени приступают к конкретной работе по разрешению узких задач, имеющих космогоническое значение.

Из всего сказанного следует, что в научной космогонии в течение последних десятилетий все более побеждает правильная материалистическая точка зрения, предполагающая объективную реальность существующего вне нас астрономического мира, богатство и разнообразие его проявлений и бесконечную глубину свойств. Эта бесконечная глубина обуславливает разнообразие конкретных путей развития на различных ступенях иерархии космических систем.

Отступление перед глубоким разнообразием явлений Вселенной, попытки увидеть в этих явлениях проявление чего-то сверхъестественного и непознаваемого приводят каждый раз лишь к застою в развитии наших знаний. С другой стороны, попытки не видеть вовсе сложность астрономических явлений, грубо упрощать их и вкладывать в старые механические схемы, не видеть качественно новое, когда мы переходим к новому миру явлений—также реакционны.

Единственно правильный путь познания природы—путь диалектического материализма. Значение этого пути для современного естествознания указал В. И. Ленин в своем гениальном труде «Материализм и эмпириокритицизм». По этому пути сознательно или бессознательно идут прогрессивные исследователи во всех странах мира. И только этот путь может привести к решению огромных задач, стоящих перед современной космогонией.

\* \* \*

Товарищи! Мое выступление облегчается тем, что доклад был напечатан и роздан. Поэтому я позволю себе просто сделать некоторые дополнительные замечания. Это естественно, поскольку наука, которую я имею честь здесь представлять, чрезвычайно быстро развивается, и за тот год, который прошел после написания доклада, произошло довольно много изменений, повлиявших на нашу науку, изменений, имеющих фундаментальное значение.

Я начну со следующего вопроса. Почти четыре века прошло с момента великой революции в истории науки. Эта революция состояла в переходе от геоцентристского к гелиоцентристскому мировоззрению. Человечество отказалось от представления о Земле как центре Вселенной. Однако Земля продолжала оставаться основной платформой, на которой были расположены все наши наблюдательные устройства. Поэтому она оставалась той системой отсчета, с которой производились наблюдения. В результате этого, в какой бы системе отсчета мы ни производили все наши теоретические расчеты, все равно впоследствии мы должны были переводить полученные результаты на систему отсчета, связанную с Землей.

В течение истекшего года впервые были запущены искусственные спутники Земли, и поэтому уже не только в теоретическом отношении, но и практически человечество отказалось от геоцентризма, и мы стали смотреть на Космос, на окружающий нас мир с более широкой точки зрения. На многие практические вопросы мы стали смотреть гораздо шире, чем это было до сих пор. Это событие является крупнейшим историческим событием, имеющим большое философское значение. Больше того, создание впервые в Советском Союзе искусственных спутников Земли и огромные перспективы, которые сейчас непосредственно открываются в области межпланетных сообщений, во весь рост ставят такую большую проблему перед человеком, как проблема взаимоотношений человека с Космосом, с гораздо более обширным миром, чем тот мир, на который воздействовал и в котором жил человек до сих пор.

Современная техника чрезвычайно быстро прогрессирует. Если сейчас, говоря о вероятных сроках дальнейшего

освоения космического пространства, говоря об осуществлении космических полетов, мы говорим о годах, о десятилетиях, то нужно иметь в виду, что десять лет это все-таки ничтожный срок в истории человечества.

Но мы, стоящие на марксистской точке зрения, убеждены в том, что человеческий прогресс будет продолжаться миллионы лет. Вот и представьте себе огромные и притом все ускоряющиеся темпы человеческого прогресса в течение миллионов лет! Ясно, что вслед за решением проблемы космических полетов будут поставлены еще более сложные вопросы воздействия человека на Космос и использования космических пространств. И в этом смысле то новое, что сейчас возникает и что возникло впервые в нашей стране, представляет большой и глубокий философский интерес, который мне здесь прежде всего хотелось бы подчеркнуть.

Затем я хотел обратиться к тем конкретным вопросам, которые были затронуты в тексте доклада. Для всех ясно, что в вопросах астрономии одним из главнейших является и имеет очень большое значение — вопрос о строении окружающей нас Вселенной. При этом мы должны говорить лишь о том конкретном, что доступно нашему изучению, а именно — о строении той части Вселенной, которая уже доступна для наших телескопов, и отсюда делать общие выводы о свойствах и общих закономерностях строения Вселенной.

Многие свойства, которые в литературе приписываются Вселенной в целом, связаны с различными гипотезами. В тексте доклада обсуждаются эти гипотезы и указывается на два рода ошибок методологического характера, которые допускаются как раз в связи с этой большой проблемой. Большая проблема о строении Вселенной связана с чрезвычайно интересным и глубоким явлением, обнаруженным современной астрофизикой. Это явление красного смещения в спектрах отдаленных галактик. Одни рассматривают это красное смещение как следствие универсального расширения Вселенной в целом. На этом построена теория расширяющейся Вселенной. Однако в этих теориях допускается иногда совершенно необузданная экстраполяция, приводящая во многих случаях к самым крайним идеалистическим и фидеистским выводам. С другой стороны, приходится иметь дело и с такими случаями, когда некоторые ученые, забывая о глубоком значении указанного факта, игнорируют то, что

мы здесь имеем дело с чрезвычайно существенным явлением природы, стараются закрыть глаза на то, что кроется за этим явлением. Это красное смещение, как показывают наблюдения, грубо говоря, пропорционально расстоянию от нас. Как известно, все попытки объяснить красное смещение не как эффект Доплера оказались безрезультатными. Поэтому имеются все основания говорить о реальном расширении всей системы галактик. Тем не менее находятся авторы, которые продолжают стоять на бесплодной позиции отрицания расширения системы галактик.

Несомненно, что в той части Вселенной, которую мы наблюдаем, имеет место чрезвычайно интересное явление взаимного удаления галактик, всех звездных систем друг от друга. В тексте доклада я пытаюсь, с другой стороны, показать, что различные предположения, лежащие в основе некоторых современных схем расширяющейся Вселенной, являются неправильными. В частности, речь идет о предположении об однородности Вселенной. Речь идет о том, является ли та Вселенная, которую мы наблюдаем, однородной или нет в макроскопическом смысле этого слова.

Что она неоднородна в более тонком смысле слова, это несомненно, потому что Вселенная состоит из галактик, галактики состоят из звезд. Но если брать этот вопрос в очень широком макроскопическом смысле, т. е. рассматривать явление в очень большом масштабе, то для решения вопроса нужно привлечь более богатый наблюдательный материал. За последнее время появились новые данные по этому вопросу. Оказывается, результаты исследований в этом направлении могут быть сформулированы следующим образом: окружающие нас галактики часто сосредоточены в скоплениях галактик. Более того, большинство галактик сосредоточено в таких скоплениях. И интересно, что эти скопления резко отличаются друг от друга по количеству вещества, по численности галактик, в них заключенных. Так, отстоящее от нас на расстоянии порядка 90 миллионов парсек скопление галактик в Волосах Вероники по богатству галактиками превосходит все более близкие скопления. Значит, там сосредоточено огромное количество вещества. Если мы изучим другие направления, то оказывается, что на расстоянии до 90 миллионов парсек нигде больше такого огромного скопления вещества мы не наблюдаем. Поэтому

размеры неоднородностей достигают 200 миллионов парсек. Другими словами, мы должны брать объемы с поперечником гораздо большим, чем 200 миллионов парсек для того, чтобы говорить в какой-то степени об однородности этих объемов.

Из последних исследований Цвикки вытекает, что и в отношении объемов с поперечником, превосходящим двести миллионов парсек, мы еще не можем говорить об однородности. Однако есть некоторые указания на то, что на расстоянии до миллиарда парсек какая-то степень однородности наступает, т. е., например, средняя плотность на расстоянии в миллиард парсек будет примерно такой же, как и в достаточно большом объеме вокруг нашей Галактики.

Однако трудности, которые имеются в решении этого вопроса, в определении средней пространственной плотности вещества заставляют говорить об этом результате, как о предварительном, тем более, что у других исследователей, работающих примерно на таком же материале, получились результаты, отличающиеся от этих.

Таким образом, можно считать подтвердившимся новыми данными тезис, выставленный в докладе, который говорит о том, что если мы хотим охарактеризовать положение дела с распределением вещества в окружающем пространстве двумя словами, то можем сказать, что оно представляет собой «крайнюю неоднородность».

Неоднородность наблюдается не только в количественном отношении. Очень сильная неоднородность наблюдается также в качественном отношении. Мы с вами, как известно, живем в Галактике. Около нас находится еще несколько галактик, они вместе образуют так называемую Местную систему галактик.

Мы в настоящее время довольно хорошо изучили, какие основные типы галактик встречаются в этой Местной системе. Была тенденция экстраполировать полученные результаты на более отдаленные галактики, на более отдаленные скопления галактик. Оказалось, однако, что одно из больших скоплений галактик, скопление в созвездии Девы, содержит в очень большом количестве галактики такого типа, которые совершенно отсутствуют в нашей Местной системе. Это галактики типа IC 3475 несколько неправильной формы, каковых совершенно нет в нашей Местной системе галактик.



Это первый факт, вызывающий представление о качественной неоднородности во Вселенной, о разнице, существующей между Местной системой галактик, в которой находимся мы, и системой галактик—скоплением галактик в Деве, которая находится от нас на расстоянии примерно 15 миллионов парсек, т. е. на расстоянии около 45 миллионов световых лет. Удалимся теперь до упомянутого выше скопления более чем 10 тысяч галактик в созвездии Волосы Вероники, которое находится на расстоянии 90 миллионов парсек.

Там мы встречаем уже объекты, которых нет в более близких к нам областях пространства. Там мы встречаем так называемые голубые галактики, отличающиеся чрезвычайно интересными свойствами. Открытие голубых галактик было выполнено мексиканским астрономом Аро. Голубой их цвет свидетельствует о том, что в этих галактиках мы имеем гораздо более интенсивные процессы звездообразования, чем в тех галактиках, которые находятся в нашей системе, в Местной группе галактик, хотя в большинстве из них процесс звездообразования тоже продолжается.

Это уже качественно новое явление, отличное от тех, что находятся внутри сферы с радиусом порядка 80 миллионов парсек. Удаляясь дальше, мы опять встречаем в качественном отношении нечто совершенно новое.

Мы наблюдаем чрезвычайно интересное скопление галактик в направлении созвездия Лебедя. Расстояние этого скопления превосходит 20 миллионов парсек. В этом скоплении галактик мы наблюдали источник радиоизлучения гигантской интенсивности, какого нет не только на более близких расстояниях от нас, но даже на расстояниях в несколько раз больших—в 5—6 раз больших. До расстояния порядка 1 миллиарда парсек мы другого подобного объекта не обнаруживаем.

Правда, существует точка зрения, согласно которой этот источник чрезвычайно мощного радиоизлучения является результатом случайного столкновения двух галактик и что, якобы, не надо придавать особого значения этому факту с точки зрения строения Вселенной в целом.

Другая точка зрения, находящая все большее подтверждение, считает, что радиогалактика в Лебеде вовсе не есть случайное столкновение двух галактик, а есть результат закономерного развития объектов, существующих во Вселен-

ной\*. Поэтому существование этого объекта является новым свидетельством качественной неоднородности окружающей нас части Вселенной.

Поэтому я позволю себе прибавить к констатируемой большой неоднородности в плотности и распределении числа галактик этот факт большого качественного разнообразия их населения. Это разнообразие все больше раскрывается по мере удаления на все большие и большие расстояния.

Максимальным расстоянием, до которого мы можем пойти, на котором мы можем еще наблюдать абсолютно наиболее яркие галактики, является расстояние порядка одного миллиарда парсек\*\*.

Таким образом, одна из основ современных упрощенных моделей Вселенной подрывается. Нет такой однородной Вселенной, о которой говорится в этих моделях. Но есть и второе обстоятельство: все эти модели принимают как основной постулат линейную зависимость скорости удаления от расстояния. К сожалению, для проверки этого допущения у нас не хватает точного знания расстояний галактик.

Чтобы охарактеризовать положение в этой области, я укажу, что в 1952 г. американский астроном Бааде на основании наблюдений, которые он выполнил с помощью большого Паломарского рефлектора, выступил на Римском конгрессе Международного астрономического союза с обоснованным предложением о том, что все известные нам до тех пор расстояния галактик должны быть увеличены в два раза, т. е. что они до тех пор были вдвое преуменьшены по сравнению с истинными расстояниями.

---

\* Гипотеза, интерпретирующая радиогалактики как сталкивающиеся галактики, потерпела полный провал после открытия квазаров и различных проявлений активности ядер галактик, в частности последствий взрыва в ядре галактики M82. В настоящее время всеобщее признание получила точка зрения В. А. Амбарцумяна, согласно которой радиогалактики являются определенной фазой развития галактик, а их радиоизлучение—одно из проявлений активности их ядер (см. соответствующие статьи второго раздела).

\*\* Наиболее отдаленные наблюдаемые космические объекты находятся на расстоянии порядка нескольких миллиардов парсек. См. примечание на стр. 89.

Но прошло немного лет, и в настоящее время произошел уже новый, хотя еще не законченный пересмотр шкалы расстояний. Оказывается, что пересмотр, который был произведен в 1952 г. Бааде, был справедлив только по отношению к ближайшим галактикам, скажем, галактикам нашей Местной системы и некоторым другим группам, которые находятся сравнительно недалеко от нашей Местной группы. Но, собственно говоря, соотношения между скоростью удаления и расстоянием, которые были впервые установлены Хабблом, для этих ближайших галактик все равно не выполняются.

Причина заключается в том, что у этих галактик скорости собственных движений настолько велики, что они замаскируют эффект удаления. Поэтому когда мы говорим, что удаленные галактики показывают эффект красного смещения, мы имеем в виду галактики, которые находятся на расстояниях, превосходящих определенный минимум. Следовательно, для того, чтобы проверить и установить закон красного смещения, мы должны выйти за пределы этого расстояния. Оказалось, что для таких весьма удаленных галактик ошибка в шкале расстояния была гораздо большей. Расстояния ближайших галактик были преуменьшены в два раза, а расстояния галактик, более удаленных, были преуменьшены, как теперь выясняется, примерно в пять раз.

В этом году в Брюсселе состоялась Сольвейская конференция, посвященная галактикам и космологии. Там были приведены очень определенные данные (в настоящее время часть из них опубликована), которые свидетельствуют о необходимости увеличить шкалу расстояния по сравнению с той, которая была до 1952 г., в отношении этих удаленных галактик уже не в два, а примерно в пять-шесть раз\*. Сам по себе тот факт, что многие расстояния до галактик нам приходится поправлять, указывает на то, что метод определения расстояний удаленных галактик недостаточно хорошо разработан. Таким образом, для галактик, которые находятся от нас на расстоянии нескольких сот миллионов парсек, точность определения расстояний пока еще очень низка. Поэтому мы можем по-прежнему говорить лишь об очень грубом выполнении линейной зависимости между расстоянием и скоростью удаления той или иной группы галактик.

\* См. примечание на стр. 17 настоящего сборника.

Большой новостью является то, что в некоторых системах галактик имеется очень большая дисперсия скоростей. Во время Международного астрономического съезда, который состоялся в Москве, Бербиджи сообщил об открытии скопления галактик, члены которого обладают столь большими скоростями, что они должны разойтись между собой, ибо сил ньютоновского притяжения недостаточно для их удержания в одном скоплении.

Открытие такой системы, т. е. системы с положительной полной энергией, имеет большое значение. Оно показывает, что наряду с общим расхождением всех галактик существуют и локальные явления расхождения групп галактик. Последние связаны с установленными нами процессами группового образования галактик\*. Если причины расхождения таких отдельных скоплений могут заключаться в самом процессе возникновения галактик, то почему же и система скопления галактик не может при своем возникновении получить такие свойства?

Очень важным методологически является следующее обстоятельство. При изучении явлений, происходящих в космическом пространстве, мы должны считаться с тем фактом, что не все эти явления могут быть сразу объяснены на основании уже известных законов теоретической физики. Правда, в последнее время дело происходило так, что новые законы физики открывались в земной лаборатории в отличие от эпохи Ньютона, когда основной закон физики—закон тяготения—был найден на основании астрономических данных. Но совершенно ясно, что мы, изучая вещество, находящееся на таких больших расстояниях от нас, не во всех случаях можем в наших лабораториях воспроизвести в точности условия, в которых находится космическое вещество. Поэтому в этих явлениях могут встретиться проявления таких законов природы, которые еще не удалось пока раскрыть с помощью опыта.

Мы должны считаться с этим. Мы можем встретить такие явления, которые нам не удастся легко объяснить на основании существующих законов. Это происходит по двум причинам: во-первых, потому, что явление недостаточно изучено

---

\* О групповом образовании галактик см. статью «Об эволюции галактик», стр. 289 настоящего сборника.

или не настолько понятно, чтобы его можно было объяснить. Но это может, во-вторых, происходить и потому, что законы, которые лежат в основе этого явления, нами еще не достаточно изучены или пока вовсе не известны. В этом смысле представляет интерес целый ряд новых явлений, открытых за последние годы, которые являются предметом обсуждения астрономов. В качестве примера я хотел бы указать на открытие, сделанное голландскими астрономами и заключающееся в том, что из центра нашей Галактики, из ядра нашей Галактики происходит истечение огромных масс газа, со скоростью 50 км в секунду. А это значит, что центральное ядро нашей Галактики, о котором мы знаем пока очень мало, обладает чрезвычайно интересными новыми свойствами, отличающимися от других известных нам образований. Каковы эти свойства—это покажет дальнейшее изучение, и огромную роль в изучении этих явлений призвана сыграть радиоастрономия.

В заключение я хочу остановиться на том, что в выяснении этих явлений, которые имеют наибольшее значение для решения космогонической проблемы, большую роль играет советская астрономия, потому что она обращает внимание прежде всего на явления, изучение которых может принести новые данные для решения основных вопросов космогонии.

Нужно, чтобы эта линия в развитии советской астрономии продолжалась. В частности, в настоящее время большое принципиальное значение приобретают вопросы изучения Метагалактики. Надо сказать, что как раз в этой области, отчасти в результате еще продолжающейся слабости нашей наблюдательной базы, мы до сих пор отставали. Но в настоящее время в области внегалактической астрономии советскими учеными уже начаты довольно обширные работы. Нет сомнений, что эти работы дадут много интересных результатов.

Второе замечание касается требования, с которым мы, занимающиеся чисто конкретными вопросами, обращаемся к философам. Мы ждем все-таки, чтобы прекратилось то положение, при котором философы (так было, по крайней мере, весьма часто до сих пор) сдерживали нас в наших поисках нового. Когда мы смело ставили какие-либо вопросы и когда наука подходила к чему-то еще не разгаданному, к чему-то чрезвычайно глубокому и интересному, то нас старались не-

которые философы сдерживать,—как бы наши ученые не впали в идеализм! Философы должны знать, что за ними большой долг, и мы хотим, чтобы наши философы настолько углубились в решение больших, принципиальных вопросов в области естествознания, чтобы они могли факелом философской мысли освещать новую дорогу, открывающуюся перед современным естествознанием.

\* \* \*

Мне был задан вопрос—каково мое отношение к релятивистской космологии. Должен сказать, что космология может быть только релятивистской, и в тексте моего доклада было совершенно четко сказано, чем это объясняется.

Если мы рассмотрим Метагалактику как систему, то ее гравитационный радиус такого же порядка величины, что и линейный размер. В таком случае эффекты общей теории Эйнштейна становятся очень большими, и поэтому космология должна быть релятивистской. Но к предложенным схемам решения этого вопроса я отношусь отрицательно, вследствие чрезвычайных упрощений, принимаемых в них.

Задается вопрос, возможно ли какое-нибудь другое объяснение красного смещения помимо доплеровского. Нет, невозможно. Во всяком случае, пока не было предложено никакого другого правдоподобного истолкования. Поэтому приходится считать, что система окружающих нас галактик и скоплений галактик расширяется. Это является одним из самых фундаментальных фактов современной науки.

Меня спрашивают, не может ли это иметь отношение к явлению расширения, которое изучено и найдено в отношении звездных ассоциаций. Сейчас трудно об этом сказать, и это было бы очень большой экстраполяцией.

Но можно указать на существование некоторых групп галактик, которые, по-видимому, расходятся. В настоящее время обнаружено одно скопление галактик, которое оказывается системой с положительной энергией.

Как оценивается в настоящее время, в связи с пересмотром шкалы расстояния от галактик, возраст Вселенной? Против термина возраста Вселенной в прямом смысле я возражаю. Я полагаю, что речь идет о постоянной, которая характеризует относительную скорость расширения Метагалактики.

Это теперь уже не 2—3 миллиарда лет, а величина порядка 12 миллиардов лет.

В заключение я хотел присоединиться к тому, что говорил С. Л. Соболев. Желательно, чтобы мы с вами больше понимали друг друга, чтобы люди, которые хотят заниматься философией естествознания, более глубоко знакомились и непосредственно работали в той отрасли естествознания, которая является областью их непосредственного интереса. Не должно быть абстрактного интереса, а должен быть интерес творческий.

## ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ АСТРОНОМИИ И ФИЗИКА МИКРОМИРА\*

Философия естествознания имеет большое значение для астрономии. Определенные философские взгляды на природу являются часто опорой при постановке и решении многих крупных вопросов естествознания, и в том числе науки о Вселенной. При наличии правильных философских взглядов вырабатывается и верный подход к решению конкретных вопросов естествознания. В частности, вполне возможно, что этот подход позволит скорее отказаться от предвзятых убеждений, которые могли возникнуть вследствие недостаточного знания философии данным исследователем или же вследствие того, что он пользуется плохой философией.

Марксистская философия, обосновавшая тезис о бесконечности материи вглубь, ее неисчерпаемости, многообразии свойств материального мира, заставляет исследователя постоянно искать проявления новых, еще не вскрытых закономерностей природы и находить глубокие связи между явлениями, на первый взгляд, мало связанными между собой.

Примером, иллюстрирующим разнообразие и глубину связей, существующих между различными явлениями материального мира, может служить связь между некоторыми закономерностями астрономической Вселенной и физикой микромира. Мы рассмотрим здесь лишь некоторые аспекты этой связи.

\* \* \*

Сам факт существования элементарных частиц имеет фундаментальное значение для всех областей естествознания. Очевидно, что если материальный мир состоит из элементар-

---

\* Печатается по книге «Философские проблемы физики элементарных частиц», «Наука», М., 1964, стр. 36—46.



ных частиц, то их существование в той или иной степени должно сказываться во *всех* явлениях природы. В этом отношении не могут являться исключением явления и закономерности, изучаемые астрономией.

Возьмем сначала самый простой пример. Как известно, современная астрофизика занимается главным образом проблемами строения звездных атмосфер, туманностей, проблемами межзвездного вещества. При этом она основывается на той информации, которую мы получаем от этих образований: от звезд, от звездных атмосфер, от туманностей, от космических межзвездных масс.

Эта информация доходит до нас главным образом посредством электромагнитных волн, т. е. в виде света и радиоизлучения. В соответствии с этим возникли и достигли высокого развития две основные отрасли современной наблюдательной астрономии: оптическая астрономия и радиоастрономия. Поскольку электромагнитное излучение состоит из элементарных частиц—фотонов, то мы заключаем, что информация приходит к нам в виде потоков элементарных частиц.

Помимо электромагнитного излучения небесных тел, до наших наблюдательных аппаратов доходят также потоки заряженных частиц высокой энергии (особенно это относится к наблюдательным средствам, помещаемым на ракетах и спутниках). Информацию, приносимую этими частицами—протонами, нейтронами и электронами,—очень трудно расшифровать, поскольку существующие в космическом пространстве магнитные поля самым случайным и неправильным образом отклоняют эти частицы от их первоначального направления. Тем не менее излучение этих частиц уже позволило получить интересные данные.

Человек, находящийся в умывальной комнате пассажирского вагона движущегося поезда, не различает проносящихся мимо предметов, так как в окнах этих комнат обычно вставлены матовые стекла. Однако рассеянный свет, проникающий через эти матовые стекла, все же может принести ему некоторую, иногда существенную информацию. Например, резкое ослабление поступающего через окна света может свидетельствовать о том, что поезд вошел в туннель, а вспышки после этого отдельные проблески будут говорить о том, насколько хорошо туннель освещен электрическими лампами.

Таким же образом удалось, например, узнать, что при некоторых солнечных вспышках возникают значительные потоки космических лучей. Комбинируя данные о космических лучах с теми сведениями, которые добыты радиоастрономическими методами, удалось установить, что так называемые дискретные источники радиоизлучения, т. е. радиотуманности и радиогалактики, являются теми центрами, где возникают частицы высокой энергии.

Если при анализе оптической информации и радиоинформации корпускулярная природа электромагнитного излучения играла до сих пор незначительную роль, то теперь, в результате повышения чувствительности свето- и радиоприемников, особенно в результате применения счетчиков фотонов, этот факт приобретает все большее значение. Что касается космических лучей, то приносимая ими информация целиком получается в результате счета и исследования отдельных частиц.

В последние годы у астрономов возникла серьезная надежда получить прямую информацию о состоянии самых глубоких недр Солнца и некоторых других звезд путем обнаружения нейтрино, которые испускаются непосредственно из центральных частей этих светил. До сих пор эти нейтрино не обнаружены вследствие своей малочисленности, а также потому, что вероятность обнаружения каждого нейтрино нашими приборами ничтожно мала. Однако сооружение достаточно крупных приборов несомненно позволит найти нейтрино, приходящие к нам из мирового пространства. С философской точки зрения весьма любопытно, что речь идет о регистрации чрезвычайно редких явлений взаимодействия нейтрино с ядрами вещества на Земле и что на основе именно такой регистрации отдельных элементарных частиц будет получаться информация о таких явлениях, прямое наблюдение которых еще недавно казалось невозможным.

Все эти обстоятельства показывают, что не только сами астрономические явления, но и способы получения нами научной информации о небесных телах тесно связаны с явлениями микромира.

\* \* \*

Вещество Вселенной, представляющее собой, в конечном счете, совокупность элементарных частиц, собрано в различ-

ные тела. Этот, с первого взгляда, тривиальный факт порождает большое число вопросов. Вещество собрано в звезды, планеты, туманности и межзвездные облака. Но если взять относительную долю вещества Вселенной, собранную в телах того или иного вида, то оказывается, что значительно больше половины всего вещества наблюдаемой нами Вселенной собрано в *звезды*. Последние являются самосветящимися телами, имеющими массу порядка массы Солнца. Общая масса рассеянного вещества, существующего в виде туманностей и межзвездных облаков, мала по сравнению с суммарной массой всех звезд.

Итак, большая часть вещества Вселенной сосредоточена в звездах. Последние, в свою очередь, не разбросаны равномерно в пространстве Вселенной, а сосредоточены в относительно небольших по объему, но гигантских по количеству звездного населения системах — галактиках. Можно с уверенностью утверждать, что *подавляющее большинство звезд сосредоточено в галактиках, содержащих не менее чем десять миллиардов звезд каждая*, т. е. в гигантских и сверхгигантских звездных системах. Известно вместе с тем, что наряду с галактиками-гигантами и сверхгигантами существуют галактики, содержащие относительно мало звезд. Самые слабые галактики-карлики содержат лишь сотни тысяч и даже только десятки тысяч звезд. Число таких карликовых галактик очень велико. Несмотря на это, их суммарная масса пренебрежимо мала по сравнению с суммарной массой гигантских галактик. Вот почему остается в силе утверждение о том, что подавляющее большинство звезд сосредоточено в гигантских и сверхгигантских галактиках.

Известно, что галактики, вообще говоря, отличаются друг от друга в отношении состава звездного населения. Несмотря на это, во всех галактиках звезды имеют массы порядка солнечной (для точности заметим, что средняя масса звезды в каждой галактике несколько меньше солнечной массы). При этом, однако, различия между составом населения карликовых и гигантских галактик не намного больше, чем различия в составе населения между двумя гигантскими галактиками, взятыми наудачу, или между двумя взятыми наудачу карликовыми галактиками. Этот факт следует считать удивительным, так как среди гигантских галактик имеются такие, которые в миллионы раз богаче звездами, чем многие

карликовые галактики. Он является указанием на то, что возможные массы звезд предопределяются более фундаментальными свойствами вещества, чем, скажем, размеры и массы той звездной системы, в которой эти звезды возникли.

Интересно, в частности, что существует верхний предел для массы звезды, который очень редко нарушается. Этот предел равен примерно  $100m_{\odot}$ \*

Весьма примечательно также, что существует верхний предел для наблюдаемых масс галактик. Точное значение этого верхнего предела еще не установлено, но приблизительно он порядка  $10^{13}$  масс Солнца.

Таким образом, мы приходим к следующим вопросам:

1. Почему вещество астрономической Вселенной собрано преимущественно в звезды?
2. Почему звезды имеют верхний предел массы порядка  $100m_{\odot}$ ?
3. Почему звезды собраны преимущественно в гигантские галактики?
4. Чем определяется верхний предел массы галактик?

Естественно думать, что эти особенности строения Вселенной определяются наиболее фундаментальными свойствами вещества, т. е. теми свойствами, которые определяются характеристиками элементарных частиц, составляющих вещество. При этом следует думать, что количественные характеристики звезд и галактик должны определяться параметрами элементарных частиц, т. е., в конечном счете, мировыми постоянными.

Рассмотрим подробнее первые два из этих вопросов.

Простой теоретический анализ показывает, что некоторое количество вещества, предоставленное самому себе в мировом пространстве, должно излучать энергию до тех пор, пока не достигнет равновесного состояния. При равновесном состоянии параметры, характеризующие данное тело, в том числе и его внутренняя энергия, не должны меняться. Это означает, что тело не должно излучать ничего, т. е. его температура должна быть равна нулю.

Таким образом, если мы хотим говорить о строго равновесных состояниях звездных масс, то должны рассматривать конфигурации при  $T=0$ . На самом деле, конечно, реальные

---

\*  $m_{\odot}$  — масса Солнца. (Прим. автора).

звезды имеют отличные от нуля, иногда довольно высокие температуры. Звездные массы с нулевой температурой являются, конечно, воображаемыми объектами. Однако открытие белых карликов показало, что существуют звездные массы, состояние которых близко к этому идеальному случаю, т. е. такие, температура которых, при расчете их механического равновесия, может быть приближенно принята равной нулю.

Спрашивается, что же говорит теория о равновесном состоянии звездных масс с температурой, равной или близкой к нулю?

Вопрос о теоретически возможных конфигурациях равновесия звездных масс разработан в теоретической астрофизике довольно подробно. Ему посвящена огромная литература. При этом принимается, что во внутренних частях звезды материя в значительной степени ионизована. Это должно иметь место даже при относительно низких температурах звездных недр. Поэтому, вообще говоря, вещество, находящееся внутри звезды, представляет собой плазму, содержащую большой процент заряженных частиц.

При заданном значении плотности и при достаточно низкой температуре совокупность электронов, входящих в состав этой плазмы, перестает удовлетворять классической статистике. Благодаря тому, что электроны подчиняются принципу Паули, их поведение определяется *статистикой Ферми*. Давление фермигаза при низких температурах значительно больше, чем у классического газа. Это давление настолько велико, что, по существу, полное давление в плазме почти целиком определяется парциальным давлением электронов. Последнее в свою очередь становится практически не зависящим от температуры, требуется лишь, чтобы температура была ниже некоторой «температуры вырождения».

Тот факт, что давление не зависит от температуры и зависит лишь от плотности электронного газа, весьма упрощает расчет конфигурации равновесия. Теория внутреннего строения такой звезды очень проста; она была построена еще в тридцатых годах нашего века Чандрасекаром и известна как теория строения белых карликов [1].

Дело в том, что допущение относительно низкой температуры внутри звезды неизбежно заставляет считать, что в звезде нет источников энергии или они очень слабы. Поэтому

светимость такой звезды должна быть очень низка, а плотность велика (иначе газ не будет вырожденным).

Такими свойствами обладают *белые карлики*. Прототипом белых карликов является спутник Сириуса. Известно, что его плотность примерно в 50 000 раз превосходит плотность воды. В настоящее время установлено, что число белых карликов в нашей Галактике очень велико. Оно измеряется многими сотнями миллионов.

Расчеты показали, что только массы, меньшие, чем некоторая предельная масса, равная в случае водородной звезды

$$m_0 = \frac{K}{m_p^2} m_\odot, \quad (1)$$

где  $K = 16 \cdot 10^{-48} \text{г}^2$  и  $m_p$  — масса протона, могут при этом находиться в состоянии равновесия\*. Подставляя в формулу (1) численное значение массы протона, получаем

$$m_0 = 5,75 m_\odot. \quad (2)$$

Таким образом, самая простая теория говорит о том, что масса звездной конфигурации, находящейся при низкой температуре, имеет верхнюю границу (2). Интересно, что эта верхняя граница значительно выше массы Солнца.

На самом деле, как указывалось выше, верхняя граница звездных масс, полученная из наблюдений, гораздо выше (2), она порядка  $100 m_\odot$ . Однако все звезды с массой, превосходящей  $m_\odot$ , уже не являются белыми карликами, т. е. не состоят из вырожденного газа. Температура их должна быть очень велика, в связи с чем в них должны происходить термоядерные реакции. Теория таких звезд также довольно подробно разработана [2], хотя и не обладает простотой теории вырожденных конфигураций. Поэтому в этой теории много неясностей. Существенно, однако, что, согласно этой теории, при массах порядка  $100 m_\odot$  выделение энергии термоядерных реакций и испускание этой энергии звездой должны происходить весьма быстро и источники термоядерной энер-

---

\* Формула (1) является по существу переписанной в других обозначениях формулой (66) главы XI цитированной книги Чандрасекара [1]. В этом новом виде формулы подчеркивается зависимость предельной массы от численного значения массы протона. (Прим. автора).

тии должны быстро исчерпаться. Поэтому это должны быть короткоживущие звезды высокой светимости. Продолжительность их жизни должна быть самое большее порядка миллиона лет. По истечении этого срока звезда лишается источников энергии и ее равновесие нарушается.

Предполагается, что нарушение равновесия должно сопровождаться выбросами из звезды части ее массы. Выброс вещества должен продолжаться до тех пор, пока масса звезды не станет ниже приведенной выше предельной массы.

Таким образом, приведенное выше теоретическое значение верхнего предела массы вырожденных конфигураций звезд имеет решающее значение для процессов эволюции всего звездного мира.

На примере этой весьма важной проблемы мы видим, в какой степени определяющими являются законы микромира для проблем космогонии и физики звезд. В частности, мы можем констатировать:

1. Если бы электроны, как элементарные частицы, не подчинялись принципу Паули, то давление в плазме было бы гораздо меньше. В частности, если бы они подчинялись классической статистике или статистике Бозе, то, как показывают расчеты, звездная масса низкой температуры не имела бы состояния равновесия. Такая масса, предоставленная самой себе, могла бы продолжать сжиматься под влиянием силы тяжести до очень высоких плотностей, намного превосходящих плотность белых карликов, даже если  $m < m_{\odot}$ .

2. Как мы видим из формулы (1), численное значение предельной массы определяется массой протона. Если, например, представить себе мир, в котором протон и вообще нуклоны имели бы в сто раз меньшую массу, чем их действительная масса, то верхняя граница для массы вырожденных звезд была бы в этом мире порядка  $57\,000 m_{\odot}$ .

3. Само собой разумеется, что теория внутреннего строения звезд позволяет определить не только верхний предел массы, но и радиус вырожденных звездных конфигураций. Оказывается, что если звезда состоит из протонов и электронов, то при массах, меньших критической, но сравнимых с ней, порядок величины радиуса определяется формулой

$$R \sim \sqrt{\frac{\hbar^3}{cG}} \frac{1}{m_p m_e} \quad (3)$$

где использованы обычные обозначения мировых постоянных.

Таким образом, значение радиусов белых карликов определяется прежде всего такими важнейшими численными характеристиками микромира, как массы протона и электрона.

Для полноты картины следует, однако, сказать следующее.

Выше мы говорили о конфигурации равновесия, которую может иметь заданная масса вещества. Но существует гравитационный дефект массы. Иными словами, масса не аддитивна в том смысле, что если вещество двух звезд с массами  $m_1$  и  $m_2$ , находящихся в равновесии, мы соединим в одну звезду, также находящуюся в равновесии, то у новой конфигурации равновесия масса  $m_3$  вообще говоря будет отличаться от  $m_1 + m_2$ . Конечно, закон сохранения массы остается в силе, но разность  $m_1 + m_2 - m_3$  уйдет в виде излучения (фотонного или нейтринного).

Поэтому, говоря о конфигурациях равновесия звездных масс, иногда целесообразно в качестве заданного параметра рассматривать *число тяжелых частиц*—барионов, как это делается, например, в теории атомных ядер. Воображаемое слияние двух масс в одну может произойти без изменения числа барионов, хотя при этом может появиться дополнительный дефект массы.

Полное число барионов удобно принимать за основной заданный параметр по той причине, что имеет место *закон сохранения числа барионов*. Поэтому число барионов в звезде будет оставаться неизменным, если только не происходит прямое их истечение из звездной конфигурации.

Правда, имеет место также закон сохранения полного числа лептонов. Однако при изменениях энергии звезды освобождающаяся энергия может излучаться не только в виде фотонов, но и в виде нейтрино или антинейтрино, что, вообще говоря, приведет к изменению числа лептонов.

Если теперь рассматривать возможные конфигурации равновесия звездного вещества при заданном числе барионов, то для низкотемпературной материи оказываются возможными, наряду со случаями, когда вырождены только электроны, случаи, когда вырожден барионный газ. В этих случаях могут наблюдаться очень высокие плотности звезд, порядка в  $10^{15} \div 10^{16}$  раз больше плотности воды. При столь



высоких плотностях количество протонов и электронов в низкотемпературном веществе оказывается небольшим по сравнению с числом нейтронов, а в иных случаях и гиперонов. Подобно атомным ядрам, такие конфигурации должны состоять почти исключительно из барионов. Так возникло представление о нейтронных и гиперонных звездах. Теория показывает, что они должны иметь верхний предел массы того же порядка, что и белые карлики. Диаметры таких «сверхплотных» конфигураций должны измеряться несколькими километрами [3].

До сих пор никто не наблюдал такие сверхплотные нейтронные или гиперонные звезды\*. Однако можно сказать, что если они существуют, их нельзя обнаружить обычными методами наземной астрономии. Но тот факт, что теоретическая астрофизика, основываясь на существующих представлениях о таких микрочастицах, как барионы, в состоянии предсказать возможность еще нигде не наблюдавшейся конфигурации звездных масс, является примечательным с методологической точки зрения.

\* \* \*

Существует еще одна область астрономии, пока еще мало разработанная, где без микрофизических представлений, пользуясь одними лишь феноменологическими понятиями, нельзя, по-видимому, сделать ни шагу. Речь идет о явлениях, изучаемых внегалактической радиоастрономией.

После того как были открыты радиогалактики, стало очевидным, что их радиоизлучение связано с существованием в этих галактиках огромных облаков релятивистских электронов, движущихся в магнитных полях. Часто эти облака электронов находятся не внутри соответствующих галактик, а в их непосредственных окрестностях.

Работами последних лет было отвергнуто старое представление о радиогалактиках, как о парах галактик, находящихся в состоянии случайного столкновения. Сейчас нет

---

\* Вскоре после написания этих строк, в 1968 г., были открыты пульсары—космические источники, обладающие очень короткими и строго периодическими импульсами радиоизлучения, а в некоторых случаях также оптического и рентгеновского излучения. Исследования закономерностей излучения пульсаров привели к заключению, что они являются быстро вращающимися нейтронными звездами.

никакого сомнения в том, что радиогалактики являются закономерным этапом внутреннего развития отдельных галактик высокой светимости, преимущественно галактик-сверхгигантов [4]\*. Встает вопрос о механизме появления в них облаков электронов столь высокой энергии.

В литературе весьма упорно и многократно высказывалась мысль, что электроны высокой энергии в этих случаях возникают посредством так называемого механизма Ферми. Согласно Ферми, при рассеянии электронов на двигающихся в данной галактике магнитных полях, связанных с облаками обычного диффузного вещества, может происходить постепенное возрастание энергии этих электронов до очень больших значений. Этот механизм был предложен Ферми для объяснения происхождения космических лучей. Теперь мы знаем, что в некоторой своей части доходящие до нас космические лучи возникают на Солнце во время мощных взрывных процессов-вспышек. Мы знаем также, что происхождение галактических радиоисточников и заключенных в них огромных количеств релятивистских электронов связано со взрывами Сверхновых. Нет никаких оснований предполагать существование каких-либо особых условий, благоприятствующих осуществлению механизма Ферми в радиогалактиках. Поэтому в последнее время возникла и развивалась другая точка зрения, согласно которой облака релятивистских электронов в радиогалактиках появились в результате грандиозных космических взрывов. Наблюдательные данные свидетельствуют в пользу того, что эти взрывы происходят в ядрах галактик, имеющих, как известно, ничтожно малый объем по сравнению с объемами самих галактик [5]\*\*. Нам представляется возможным, что энергия этих взрывов должна возникать за счет каких-то быстро протекающих ядерных процессов, природа которых еще не известна.

Иными словами, механизм Ферми объясняет появление релятивистских электронов на основе взаимодействия микро-частиц с макрополями. Новая же точка зрения предполагает, что главную роль играют какие-то микровзаимодействия, при которых наиболее важны ядерные силы. Таким образом,

\* См. первое примечание на стр. 32 настоящего сборника.

\*\* См. статью «О природе и эволюции галактик (стр. 327 настоящего сборника).

грандиозное явление радиогалактик рассматривается как прямое следствие микровзаимодействий в веществе ядра галактики.

Выброс гигантских облаков релятивистских электронов, в результате чего данная галактика превращается на время в радиогалактику, является лишь одной из форм активности ядер галактик. Ядра немногих гигантских галактик проявляют и другие формы активности. Так, в нашей Галактике наблюдается истечение газов из центральной области Галактики, достигающее скорости 50 км/сек. Такое же истечение вещества наблюдается из ядра гигантской галактики M 31 в созвездии Андромеды.

Тот факт, что на крупномасштабных фотографиях многих близких Галактик спиральные рукава можно проследить вплоть до самих ядер, дает основание считать, что указанные выше явления истечения вещества из ядер связаны с процессом формирования и развития спиральных рукавов. Таким образом, вполне возможно, что развитие рукавов является в значительной степени результатом активности ядра.

С другой стороны, наблюдаются случаи, когда из ядер некоторых сверхгигантских эллиптических галактик истекает прямолинейная струя, на протяжении которой имеются отдельные сгущения. Иногда эти сгущения голубого цвета, что их отличает от остальных частей галактики. Анализ этих явлений показывает, что наблюдаемые в струях сгустки следует трактовать как дискретные выбросы из ядер. При этом светимость этих сгустков превосходит светимость многих карликовых галактик. Таким образом, мы, вероятно, имеем здесь дело с возникновением новых галактик из ядер сверхгигантских галактик. Это дает основание считать, что возникновение новых галактик может происходить и в нашу эпоху развития астрономической Вселенной.

Поскольку ядра галактик могут породить космические образования разного рода, как-то: 1) гигантские облака релятивистских электронов; 2) спиральные рукава и 3) молодые галактики умеренной светимости, то можно сейчас уже говорить о *различных формах космогонической активности ядер галактик\**.

---

\* Об активности ядер галактик см. соответствующие статьи во втором разделе настоящего сборника. Подробнее см. в книге «Проблемы 4—614

Надо думать, что не только механизм возникновения больших облаков релятивистских электронов (радиогалактики), но и другие формы космогонической активности ядер имеют тесную связь с превращениями элементарных частиц, входящих в ядра.

\* \* \*

Мы привели лишь некоторые примеры, свидетельствующие о непосредственном значении законов микромира для макроскопических процессов, происходящих в астрономической Вселенной. Число этих примеров можно умножить. Мы ограничились теми, которые имеют значение для космогонии.

Однако не следует отсюда заключать о том, что астрофизические явления всегда сводятся к простой сумме микрофизических явлений. Это было бы грубой ошибкой. Когда мы имеем дело с такими большими количествами элементарных частиц, которые входят в состав звезд и галактик, то возникают качественно новые эффекты: 1) статистические закономерности, которые определяют физические свойства вещества звезд и туманностей и происходящие в них термодинамические и газодинамические явления, и 2) эффекты, связанные с огромной ролью силы притяжения. Именно эти эффекты создают своеобразную специфику астрофизических явлений, делающую астрофизику областью науки, которая совершенно не похожа на лабораторную физику.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. С. Чандрасекар, Введение в учение о строении звезд, М., 1950.
2. М. Шварцшильд, Строение и эволюция звезд, М., 1961.
3. В. А. Амбарцумян и Г. С. Саакян, О равновесных конфигурациях сверхплотных вырожденных газовых масс, *Астрономический журнал*, т. XXXVIII, вып. 5, 1961, стр. 785; В. А. Амбарцумян и Г. С. Саакян, Современное состояние теории сверхплотных небесных тел. *Вопросы космогонии*, т. IX, 1963, стр. 91.
4. В. А. Амбарцумян, Некоторые замечания о кратных галактиках (1955); О кратных галактиках (1956), «Научные труды», т. II, Ереван, 1960.
5. См. В. А. Амбарцумян, Проблемы внегалактических исследований, *Вопросы космогонии*, т. VIII, 1962, стр. 3.

---

современной космогонии, под редакцией В. А. Амбарцумяна, «Наука», М., 1972 (2-е издание).

## МАРКСИСТСКО-ЛЕНИНСКАЯ МЕТОДОЛОГИЯ И ПРОГРЕСС НАУКИ\*

Один из важных моментов, который был отмечен в докладе академика Л. Ф. Ильичева,—это момент, касающийся ускорения темпов развития науки. Действительно, наука в нашу эпоху достигла невиданных темпов развития. Ставится огромное количество новых принципиальных, существенных вопросов, имеющих, с одной стороны, глубокое философское, мировоззренческое значение, а с другой,—тесно связанных с разными дисциплинами. Без правильного философского подхода трудно их решить.

На примере астрофизики я должен сказать, что темпы развития науки за последнее десятилетие сильно ускорились. Мы любим иногда удивлять наших коллег по другим специальностям теми огромными расстояниями, с которыми имеет дело современная астрофизика с помощью современных телескопов, огромными масштабами тех космических систем, которые мы изучаем. К этому в настоящее время прибавилось нечто другое: это факты гигантских количеств энергии, которые выделяются при различных астрофизических процессах. Если раньше мы говорили о взрывах на звездах, при которых выделялись энергии порядка  $10^{35}$  эрг, то в настоящее время стало ясно, что в ядрах галактик происходят взрывы, при которых выделяется энергия порядка  $10^{58}$ — $10^{59}$  эрг\*\*.

---

\* Выступление на расширенном заседании Президиума Академии наук СССР, посвященном обсуждению доклада академика Л. Ф. Ильичева «Методологические проблемы естествознания и общественных наук», 18 октября, 1963 г. Печатается по тексту трудов совещания: «Методологические проблемы науки» (Материалы заседания Президиума Академии наук СССР), «Наука», М., 1964, стр. 193—196.

\*\* В настоящее время выяснено, что энергии, выделяемые при взрывах, происходящих в ядрах галактик, могут достичь порядка  $10^{60}$ — $10^{62}$  эрг.

Для того чтобы ясно понять, что это такое, достаточно сказать, что эта энергия эквивалентна полной массе, содержащейся в десятках тысяч таких звезд, как наше Солнце. В течение одного взрыва выделяется совершенно феноменальное количество энергии.

Современная астрофизика, быстро развиваясь, стала эволюционной. Это очень существенно. Если до 40-х годов астрофизика рассматривала Вселенную главным образом в статике, то благодаря новым открытиям стало возможным рассматривать ее в эволюции.

В настоящее время выявились две различные точки зрения, два различных направления. Между ними идет борьба. Одна точка зрения связана с такой тенденцией: все процессы эволюции в астрофизике (процессы происхождения звезд, галактик и т. д.) объяснять собиранием, сгущением ранее существовавшего диффузного вещества, от менее плотного, диффузного, к более плотному и к очень плотному (к звездам, планетам и т. д.). В Советском Союзе развивается противоположная точка зрения. В частности, наша группа\* пришла к мнению, что в вопросах эволюции играют большую роль процессы противоположного характера—от более плотного к менее плотному.

Нашим ученым удалось быстрее понять, что представляют собой те грандиозные явления радиогалактик, которые в последнее время привлекли всеобщее внимание. Исходя именно из той концепции, что мощные процессы, происходящие во Вселенной, связаны с переходом от более плотного к менее плотному состоянию, наши ученые обосновали точку зрения, согласно которой в ядрах галактик происходят колоссальные взрывы. Под напором фактов к тому же самому в последнее время пришли американские астрономы, хотя они еще несколько лет назад категорически отрицали, что радиогалактика—результат взрывов, и настаивали на том, что взрывы—результат столкновения двух галактик. Но факты—упрямая вещь, и они заставили признать, что, действительно, эти гигантские выделения энергии, происходящие

---

\* Имеется в виду группа сотрудников Бюраканской астрофизической обсерватории Академии наук Армянской ССР и других исследователей, разрабатывающих эту концепцию. Об этих исследованиях см. статьи второго раздела настоящего сборника.

относительно часто во Вселенной, связаны с выделением энергии в очень плотных частях звездных систем, в так называемых ядрах галактик. Сейчас эти процессы выделения энергии в ядрах галактик, именно в ядрах, как с самого начала утверждали советские астрономы, находятся в центре внимания современной астрофизики—как оптической, так и новой отрасли—радиоастрофизики.

Почему получилось, что советские астрофизики исходили из правильных позиций? Тут сыграло роль одно фундаментальное обстоятельство, а именно то, что мы не посмотрели на предрассудок, который жил в науке и согласно которому вообще все существующее надо объяснять, исходя из чего-то диффузного, хаотического, имеющего ничтожную плотность. Никогда прежде не было речи о каких-то очень плотных образованиях.

Отказ от предрассудков, которые существуют в науке и которые иногда очень глубоко гнездятся в сознании ученых, между прочим, является одним из признаков правильной материалистической методологии. Правильно подходить к научным вопросам, особенно фундаментальным вопросам, которые мы изучаем,—это значит прежде всего уметь понять, где предвзятое мнение, и суметь вовремя, когда изучается новое явление, отказаться от этих предвзятых мнений. Я думаю, что, говоря о правильной методологии, мы должны подчеркнуть эту сторону—умение отказываться от неправильных, предвзятых мнений, которые были связаны со старыми понятиями. Так, в частности, происходило в свое время, когда классическая механика сменилась квантовой механикой. Надо было отказаться от прежних понятий не потому, что они не имели своей области применения, но потому, что надо было в новых условиях суметь отказаться от понятий, которые для более широких областей являлись в известной степени уже предрассудком.

Второе обстоятельство, на которое я хотел обратить внимание. В современной науке и технике имеются огромнейшие достижения, и несомненно, что они влияют на общественную жизнь. Влияние быстрых темпов развития науки и ее достижений должно стать предметом изучения философии, общественных наук.

Наше время заставляет нас оперировать терминами кибернетики. Это очень много значит. Значительно меняется

наш подход к вопросам. Наше время заставляет нас во многих вопросах мыслить космическими понятиями, потому что наше время есть время космических полетов, изучения далекой Вселенной, познания происходящих в ней процессов и применения этих знаний в современной технике. Все это сильно влияет на сознание человека и, следовательно, на общественные процессы.

Таким новым, пока еще в известной мере фантастическим вопросом, который уже ставится и должен был бы привлечь внимание философов, представителей общественных и естественных наук, является вопрос о том, существуют ли другие неземные цивилизации. Если существуют миллиарды планет только в одной нашей Галактике, миллионы миллиардов планет во Вселенной, то несомненно, что этот вопрос будет приобретать все большую и большую актуальность.

Вот подход к решению этих вопросов. Земля существует несколько миллиардов лет. Человеческая цивилизация появилась на Земле совсем недавно. Для нас, астрономов, лучше называть цивилизацией ту стадию развития (прошу понять меня чисто условно), когда человек начинает понимать, что делается кругом во Вселенной. Человеческая цивилизация в таком аспекте этого понятия существует лишь 200 лет. Конечно, это чисто условно. Можно считать со времени какого-то другого крупного события, как, например, открытие ножа, молота или другого орудия. Для тех миллиардов лет, о которых мы говорим, это практически все равно.

Когда мы говорим о других планетах, то мы представляем себе, что возрасты их могут быть различны: одни могут быть моложе, чем наша Земля, и тогда ни о какой цивилизации не может быть и речи. Но, с другой стороны, могут быть такие планеты, которые более развиты, их возраст на много миллионов лет превосходит возраст Земли.

Допустим, что существуют такие цивилизации, которые значительно впереди нас. Ясно, что уже через несколько сот лет возможности человека в смысле космических связей, изучения космоса, освоения космоса будут несравнимы с сегодняшними и каждые сто лет будет совершаться новый гигантский скачок в этом направлении.

Что произойдет еще в течение нескольких десятков тысяч или миллионов лет—трудно даже себе представить, но во всяком случае продвижение вперед будет сказочно большим.



Сегодня раздаются голоса: поскольку мы не увидели никаких следов других цивилизаций, то, может быть (а такая точка зрения совершенно неправильна), всякая цивилизация кончается самоубийством. Такая неправильная, ни на чем не основанная точка зрения высказывается в печати. Мы должны противопоставить этому взгляду правильную точку зрения.

Но как же идет развитие, как более высокие цивилизации должны подойти к вопросам сообщения, связи с другими цивилизациями? Этот вопрос требует глубокого теоретического изучения. Вопрос о возможных путях развития человеческих знаний в будущем, науки и техники отдаленного будущего становится очень интересным и пока очень трудно разрешимым вопросом. Но сегодня ли, завтра ли он станет в порядок дня, и поэтому мы должны им интересоваться.

Этот вопрос разрешим только в результате совместной работы естественников и представителей общественных наук. В этом отношении надо присоединиться к призыву Л. Ф. Ильичева, что нам нужно во многих областях организовать совместное сотрудничество представителей естественных и общественных наук и нужно, чтобы представители общественных наук и наши философы не боялись постановки этих сложных и трудных проблем, ответы на которые могут быть совершенно неожиданные. К решению этих вопросов надо подходить без предрассудков, а это значит — смело и вместе с тем умело решать их.

Скажут, что вот естественник опять начал критиковать философов. Но мы не имеем основания их критиковать, мы ждем от них хороших работ, инициативы, более глубокого подхода к большим вопросам, которые у нас стоят. Если с их стороны это будет проявлено, то наше сотрудничество с ними будет обеспечено.

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО РАЗВИТИЯ АСТРОФИЗИКИ\*

Логика развития науки привела к тому, что ее древнейшая отрасль—астрономия—за последнее десятилетие достигла огромнейших успехов. Сегодня она не только принадлежит к числу наиболее быстро развивающихся дисциплин, но и открывает новые пути перед другой важнейшей отраслью современной науки — физикой.

Отметим пять моментов, которые указывают на необычайно бурное развитие астрономии за 1917—1967 годы:

а) создание внегалактической астрономии, превосходящей по своему принципиальному научному значению уже сейчас и астрономию Солнечной системы, и звездную астрономию;

б) возникновение радиоастрономии;

в) широкая разработка и внедрение эволюционного взгляда на физику звезд и туманностей;

г) исследование межпланетного пространства, Луны и планет с помощью ракет, спутников и других космических аппаратов;

д) открытие нового класса гигантских космических тел—квазизвездных объектов, в корне отличных от всех, ранее известных.

Этот список научных достижений можно было бы намного расширить. Особенно важно, что одно за другим возникают новые направления исследований, обещающие нам новые, еще более глубокие результаты. К числу таких перспективных направлений относится, например, рентгеновская астрономия, фактически уже возникшая и уже давшая несколько неожиданных результатов, а также изучение энергетических

---

\* Печатается по сборнику «Октябрь и научный прогресс», т. I, АПН, М., 1967, стр. 71—85.

процессов огромной мощности, происходящих в ядрах галактик. В ближайшие годы мы начнем получать совершенно новую информацию с помощью телескопов, запускаемых в космос. Эта информация будет во много раз более разносторонней, чем та, которую дают наземные телескопы. Здесь нас, несомненно, ждет много неожиданных открытий.

Астрономия, как и в прежние времена, продолжает оставаться, главным образом, наблюдательной наукой. Терпеливое собирание фактов, постоянное стремление к точности наблюдений, если необходимо, многократное повторение однотипных наблюдений—все это остается незыблемой традицией астрономов. Особенности астрономии как наблюдательной науки наиболее ярко проявились в течение последних десятилетий. Поэтому на них стоит остановиться несколько подробнее, и особенно на вопросе о взаимной связи теоретических и наблюдательных работ, а также на некоторых чертах, отличающих астрофизику от других разделов физических наук. Столкнувшись с новым явлением, сущность которого им еще не понята, физик обычно повторяет свой опыт для того, чтобы установить зависимость явления от изменения условий, в которых поставлен эксперимент. Он не только старается хорошо знать физические условия, в которых происходят явления, но имеет возможность управлять ими и их изменять. Совершенно иначе дело обстоит в астрофизике. Пронаблюдав один раз необычное явление, мы не в силах ни управлять внешними условиями, в которых оно произошло, ни повторять его по нашему желанию. Мы иногда даже не имеем представления о тех условиях и внешних обстоятельствах, в которых замеченное нами явление произошло.

Физик, наблюдая новое явление, ставит сразу перед собой или перед физиками-теоретиками вопрос о его причинах. Астрофизик же, ставя такой вопрос, часто оказывается в положении слишком торопящегося человека, ибо прежде чем объяснить причину нового явления, нужно понять, что и в каких внешних условиях произошло. Чтобы быть конкретнее, приведем один пример.

Уже в прошлом столетии астрономы проявляли большой интерес к вспышкам «Новых звезд». К концу его было выяснено, что возникающая вспышка происходит не в пустом месте неба, а связана с возгоранием какой-то уже существ-

вовавшей до этого слабой звезды. Астрофизики получили в свое распоряжение первые кривые изменения блеска Новой звезды, характеризующиеся тем, что увеличение блеска происходит неожиданно и продолжается короткое время—два, три дня, затем наступает все более замедляющееся его падение, и через два-три года или более звезда возвращается к своему прежнему состоянию, которое было до вспышки.

Спектральные снимки показали, что в период вспышки в спектре звезды наблюдаются сильно смещенные линии поглощения. Как удалось установить, смещение происходит всегда в сторону фиолетового конца спектра. В дальнейшем линии поглощения слабеют и исчезают, а вместо них в спектре Новой звезды появляются широкие полосы излучения. Возник вопрос о причинах таких вспышек. Была высказана, с сегодняшней точки зрения совершенно наивная гипотеза, согласно которой вспышка Новой звезды вызвана столкновением двух звезд. При этом смещение спектральных линий поглощения рассматривалось как доказательство тех больших скоростей, которые должны возникнуть при столь тесном сближении двух звезд согласно законам механики.

Гипотеза о столкновениях, как причине вспышек Новых звезд, была очень давно отвергнута. Сейчас, во второй половине двадцатого века, явление вспышек Новых звезд изучено настолько подробно, что против такой неправильной гипотезы можно привести сотни аргументов. Упомянем лишь то, что при хорошо нам известной теперь плотности пространственного распределения звезд столкновения могут происходить в Галактике один раз в сотни миллионов лет. На самом же деле в Галактике ежегодно вспыхивает более двух десятков Новых звезд. Что касается смещения спектральных линий, то в случае, если оно вызвано ускорениями, возникающими при столкновении, мы должны были бы наблюдать в одних случаях смещения к фиолетовому концу спектра, а в других—к красному. Между тем, при всех вспышках наблюдалось смещение линий поглощения к фиолетовому концу.

Постепенное накопление наблюдательных данных, происходившее по мере открытия вспышек Новых звезд в первой половине двадцатого столетия, особенно накопление спектроскопических наблюдений, позволило построить приближенную картину явления. Оказалось, что в звезде происходит быстрое, почти мгновенное выделение энергии, взрыв. В резуль-

тате вещество внешних слоев звезды выбрасывается в окружающее пространство, и вокруг нее возникает газообразная оболочка, которая расширяется со скоростью порядка тысячи километров в секунду. С течением времени вещество оболочки образует вокруг первоначальной звезды туманность, которая продолжает расширяться и рассеиваться. Сама же звезда приходит в стационарное состояние, более или менее близкое к первоначальному. Сказанное не является объяснением причины вспышки, это только внешнее описание явления.

Таким образом, многолетние труды астрономов, как наблюдателей, так и теоретиков, дали возможность понять, что происходит во время вспышки. Но у нас нет теории, объясняющей причину взрыва. Несомненно, она будет создана в ближайшее время.

Такая последовательность в изучении явления очень характерна для многих астрофизических проблем. Она состоит из трех этапов: наблюдения, выяснения того, что происходит в наблюдаемом объекте и, наконец, теоретического объяснения причин явления.

В случае вспышек Новых звезд вначале была сделана попытка перескочить через второй этап, не разобравшись в том, что же происходит во время вспышек, понять их причины. На этом же примере видно, что второй этап требует иногда длительного изучения, продолжающегося десятилетия.

Называя кратко этот второй, существенный этап интерпретацией явлений, мы приходим к тому, что исследование астрофизических процессов состоит из наблюдений, их интерпретации и теоретического объяснения. Последнее включает в себя вскрытие причин явления.

Ошибка, сделанная в свое время при изучении Новых звезд, самым любопытным образом повторилась уже во второй половине двадцатого века—когда были обнаружены так называемые радиогалактики.

В 1952 году были опубликованы замечательные работы Бааде и Минковского, показавших, что некоторые дискретные источники интенсивного космического радиоизлучения являются галактиками. Поскольку многие из близких галактик не испускают заметного радиоизлучения, стало очевидным, что радиогалактики представляют собой важный, но редкий

класс или, может быть, кратковременное состояние, через которое проходят многие галактики.

Однако Бааде и Минковский не ограничились своим открытием и указанной констатацией. Они попытались дать объяснение появлению интенсивного радиоизлучения у некоторых галактик, выдвинув гипотезу о том, что любая радиогалактика есть результат столкновения двух галактик, каждая из которых содержала до столкновения большие массы межзвездного газа. Почти сейчас же после опубликования эта гипотеза подверглась подробному анализу в Бюраканской обсерватории. Было показано, что вероятность требуемых почти центральных столкновений чрезвычайно мала для того, чтобы объяснить наблюдаемое число радиогалактик.

Но кроме этого, чисто статистического аргумента, были выдвинуты и другие возражения. Радиогалактики являются почти во всех случаях сверхгигантами, и причину появления интенсивного радиоизлучения следовало искать в явлениях их внутренней жизни, а не связывать его с такими внешними факторами, как столкновения.

В настоящее время можно считать доказанным, что превращение обычной галактики в радиогалактику, ее радиовспышка происходит в результате выброса из ядра галактики огромных облаков релятивистских электронов, обладающих высокой энергией. Двигаясь в магнитном поле, они дают интенсивное радиоизлучение. Выброс облаков происходит за сравнительно короткое время, поэтому все явление представляет собой колоссальный взрыв, при котором выделяется энергия порядка  $10^{60}$  эрг. Это самые большие взрывы, наблюдаемые в природе\*.

Более детальное изучение явлений в галактиках показало, что в их ядрах происходят и другие процессы быстрого освобождения энергии. При этом из ядра выбрасываются большие массы вещества, состоящие, в отличие от облаков релятивистских электронов, из водорода и других элементов.

Таким образом, возникло современное представление об активности ядер галактик—представление, которое, несомненно, приведет к очень далеко идущим следствиям\*\*.

По мере того, как все более глубоко изучаются уже

---

\* См. второе примечание на стр. 51 настоящего сборника.

\*\* См. примечание на стр. 49 настоящего сборника.

известные формы этой активности и открываются новые ее формы, мы приближаемся к моменту, когда, исходя из эмпирических данных, удастся выявить основные закономерности. И только после этого можно будет пытаться найти причины активности ядер галактик, попытаться построить хотя бы грубо картину этого явления.

В свою очередь активность ядер является причиной огромных эволюционных изменений в соответствующих галактиках, например, уже упоминавшихся превращений обычных галактик в радиогалактики. Поэтому перспективы построения теории эволюции галактик в целом являются гораздо более близкими и обнадеживающими, чем перспективы разработки теории активности ядер. Кстати, мы еще по-настоящему не знаем, как устроены ядра галактик. Для объяснения причин их активности предстоит пройти еще долгий путь. Интерпретация здесь уже выполнена, третий этап еще не начался.

Приведем теперь пример, когда все три этапа изучения астрономического явления можно считать пройденными.

Еще в прошлом веке был открыт спутник Сириуса. Имея обычную для звезд массу, он обладает очень низкой светимостью. Возник вопрос: какова природа этого необычного небесного тела? В тот период не только нельзя было объяснить такое несоответствие, но нельзя было даже сказать: что представляет собой столь странное небесное тело. Однако в первой четверти нашего столетия удалось впервые сфотографировать спектр спутника Сириуса, что является трудным делом, так как сильно мешает свет гораздо более яркого Сириуса.

Изучение спектра прямо указало на два фактора: 1) наружные слои спутника, как и у всех звезд, состоят из раскаленных газов; 2) спутник относится к горячим звездам, температура его поверхности порядка  $10\,000^\circ$ . При столь высокой температуре излучение с единицы поверхности может быть весьма велико. Поэтому низкая светимость может объясняться только тем, что поверхность спутника Сириуса и его размеры очень малы, но при нормальной массе звезды это означает высокую плотность. Вычисления привели к невероятной по тем временам цифре—плотность оказалась в 50 000 раз больше, чем у воды. Так был открыт первый «белый карлик» в нашей Галактике. Теперь мы знаем, что в нашей звездной системе имеется не менее одного миллиарда

таких «белых карликов» и что средняя плотность многих из них более чем в миллион раз превосходит плотность воды.

Второй этап изучения проблемы был пройден. Но оставался третий этап: надо было объяснить, как раскаленная звездная масса, будучи в состоянии механического равновесия, может иметь столь большую среднюю плотность. Милн и Чандрасекар, основываясь на теории сильно вырожденного электронного газа Ферми, показали, что массы, подобные массе спутника Сириуса, при наличии вырождения, должны иметь такие гигантские плотности, какие мы наблюдаем у «белых карликов». Была построена математическая модель «белых карликов», находящаяся в довольно хорошем соответствии с наблюдениями. Интересно отметить, что статистика Ферми, служащая физической основой теории «белых карликов», была создана в 1925 г., вскоре после установления огромной плотности этих звезд.

Конечно, желательно, чтобы физическая теория, пригодная для объяснения причин каких-либо астрономических явлений, была бы уже разработана к тому моменту, когда она понадобится для построения астрофизической теории. Но не всегда бывает так. Например, уже в 20-х годах были созданы основы формальной теории внутреннего строения звезд. Стало очевидным, что источником звездной энергии должны служить какие-то ядерные реакции. Однако в то время теория атомного ядра не была достаточно разработана, и это тормозило дальнейшее изучение внутреннего строения звезд. Только в конце 30-х годов на основе новых представлений о строении атомного ядра была предложена реакция Бете, осуществляющая процесс термоядерного превращения водорода в гелий, что позволило создать более стройную теорию строения звезд главной последовательности.

Обратимся теперь к вопросу о том, какими средствами решаются задачи понимания астрофизических явлений на втором и третьем этапе исследования.

Работа на второй ступени бывает связана, прежде всего, с изучением и обобщением наблюдательного материала, а также требует сравнения параметров, характеризующих данное явление, со значениями параметров других процессов, которые могут иметь отношение или быть похожими на изучаемые астрофизические процессы. Такое обобщение и сравнительное сопоставление наблюдательных данных требу-



ют очень хорошего владения всем наблюдательным материалом, относящимся к данной области. Вместе с тем, на этой второй ступени, когда по внешним наблюдательным признакам и параметрам следует разгадать сущность процесса, важно уметь хорошо пользоваться законами теоретической физики и уже установленными закономерностями теоретической астрофизики для быстрого перебора всех мыслимых (конечно, большей частью неправильных) возможностей и отбора наиболее правдоподобных истолкований. На этой стадии главным является умение оперировать наблюдательными данными и надлежащим образом обобщать их.

Совершенно иное положение бывает на третьей ступени процесса, когда умение пользоваться законами теоретической физики и знание уже разработанных теоретических астрофизических моделей является самым главным. Но и здесь необходимо хорошее владение фактическими данными и умение их сопоставлять и обобщать.

История советской астрономии за 50 лет насчитывает немало случаев, когда на основе подробного анализа и обобщения наблюдательных данных делались весьма существенные выводы о происходящих во Вселенной процессах.

Приведем здесь два примера из звездной астрономии.

В нашей Галактике число двойных и кратных звезд очень велико. Оно, во всяком случае, измеряется многими миллиардами. В окрестностях Солнца больше половины звезд входит в состав двойных звезд и систем более высокой кратности. Звездные пары весьма разнообразны в отношении физической природы своих составляющих. В каждой паре составляющие двигаются по эллипсам вокруг общего центра тяжести. Точно так же имеет форму эллипса орбита относительного движения менее массивного тела вокруг более массивного. (Обычно, говоря об орбитах двойных звезд, имеют в виду как раз относительные орбиты). Большие полуоси этих орбит имеют у разных пар самые различные значения. Для совокупности изученных пар они заключены между одной сотой и десятью тысячами астрономических единиц. Накопленные многочисленные эмпирические данные позволяют вывести закон распределения больших полуосей орбит.

Естественно, возникает вопрос—каково происхождение звездных пар. В отличие от проблемы происхождения самих звезд, здесь можно ограничить себя постановкой следующего

вопроса: возникли ли компоненты каждой пары (или кратной звезды) совместно, или же эти компоненты существовали ранее в качестве одиночных звезд общего галактического звездного поля?

Представим себе звездную систему, состоящую из одиночных, двойных и кратных звезд, и допустим, что новые звезды в ней не возникают. Пусть такая система в течение длительного времени представлена самой себе. При случайных сближениях членов такой системы может произойти три типа явлений: 1) при сближении двойной звезды с какой-либо одиночной последняя, проходя мимо, может вызвать возмущение элементов орбиты в двойной системе. Тогда изменится большая полуось орбиты, которая либо уменьшится, либо увеличится; 2) возмущение, вызываемое проходящей одиночной звездой, может быть столь большим, что двойная система распадется на отдельные независимые компоненты. После такого сближения мы будем иметь три одиночные звезды, расходящиеся в разные стороны; 3) три одиночные звезды, сблизившись между собой в пространстве, могут взаимодействовать так, что одна из них получит относительную энергию двух других, которые образуют звездную пару. Таким образом, после сближения мы будем иметь одну двойную звезду и одну одиночную вместо первоначальных трех одиночных.

В результате длительного действия сближения первого типа у совокупности двойных звезд нашей звездной системы установится некоторое равновесное распределение больших полуосей. Это теоретическое распределение легко вычислить и сравнить с эмпирическим. Но оказалось, что между двумя распределениями нет ничего общего.

В результате второго и третьего процессов у нас будет происходить разрушение пар и их возникновение. С течением времени между этими двумя противоположными процессами также должно установиться равновесие—число разрушающихся пар станет равным числу вновь возникающих. По аналогии с соответствующими химическими процессами такое равновесие называется диссоциативным. При диссоциативном равновесии и при заданной средней кинетической энергии звезд количество двойных звезд в единице объема вполне определяется заданием количества одиночных звезд. Поскольку количество одиночных звезд в единице объема

известно, то отсюда можно предвычислить теоретическое значение количества двойных звезд в единице объема.

Однако наблюдаемое число пар в миллионы раз больше этого теоретического значения. Это означает, что по-существу никакого диссоциативного равновесия нет. В свою очередь, отсюда следует вывод, что длительность существования звездной системы гораздо меньше времени релаксации, т. е. того промежутка времени, в течение которого диссоциативное равновесие должно было установиться. Это подтверждается и тем, что распределение больших полуосей орбит также не соответствует равновесному распределению.

Но здесь нас интересует то, что отклонение числа двойных звезд от равновесного значения в большую сторону дает возможность решить приведенную выше альтернативу о процессах возникновения двойных звезд.

В самом деле, если звезды возникли как одиночные, а потом из них при тройных сближениях возникали двойные звезды, но после этого прошло слишком мало времени для установления диссоциативного равновесия, то сейчас число двойных звезд должно быть гораздо меньше, чем ожидаемое при диссоциативном равновесии. На самом деле оно в миллионы раз больше. Это позволяет сразу сказать, что в подавляющем количестве пар оба компонента возникли совместно. Так комбинирование анализа наблюдательных данных с теоретическими и статистическими расчетами дает возможность найти, как и в каком направлении идет процесс: раз в настоящее время двойных звезд гораздо больше, чем при диссоциативном равновесии, сближения должны вести к постоянному разрушению совместно возникших пар.

Решая вопрос в пользу совместного возникновения компонентов каждой пары, наш анализ, однако, не дает никаких указаний на механизм возникновения пар, так же, как и более подробных указаний на обстоятельства возникновения пары.

В связи с этим представляет также большой интерес вопрос о разных типах кратных звезд.

Дело в том, что, наблюдая кратную звезду, мы непосредственно видим, какую конфигурацию образуют на небе ее составляющие. Статистическая информация о встречающихся формах конфигураций может быть полезна для решения вопросов о происхождении кратных звезд. Существенно то,

что мы получаем такую информацию относительно легко. При этом не нужно знать размеров системы, для определения которых необходимо установить, на каком расстоянии она находится, что всегда трудно.

Остановимся для примера на тройных звездах. Каждая тройная звезда образует в проекции на небо треугольник. Большинство этих треугольников таково, что одна из сторон по крайней мере в несколько раз короче двух других. Иными словами, две звезды А и В относительно близки друг к другу, а третья С далека от первых двух. Только незначительное меньшинство тройных звезд имеет другое строение. У этой категории систем все три расстояния между компонентами (все три стороны треугольника) — величины одного порядка. Системы первой категории получили название систем обыкновенного типа. Системы второй категории получили название «кратных систем типа Трапеции Ориона» — по имени четверной системы в Орионе, которая имеет одинаковый порядок величины всех расстояний. Динамические соображения показали, что кратные системы типа Трапеции неустойчивы. После своего возникновения они могут продержаться столь недолго, что каждая из звезд успеет совершить лишь несколько оборотов. Одна из звезд очень скоро получает кинетическую энергию, достаточную для ухода в бесконечность, и вместо тройной звезды остается двойная.

Оказалось возможным оценить, что возраст (промежуток времени от возникновения до распада) наблюдаемых систем типа Трапеции в большинстве случаев по порядку величины не должен превосходить миллион лет. Поскольку звезды, составляющие каждую кратную систему, возникли совместно, то и компоненты Трапеции должны иметь возраст того же порядка. Но миллион лет — это весьма короткий срок по сравнению со средней продолжительностью жизни звезд, превосходящей десять миллиардов лет. Можно сказать, что наблюдаемые системы типа Трапеции — звезды, застигнутые нами в их самом младенческом состоянии. Действительно, большая часть систем типа Трапеции расположена в звездных ассоциациях, во вновь возникающих звездных группах, а сами компоненты имеют спектры, характерные для очень молодых звезд.

Вместе с тем, наблюдается значительное число систем типа Трапеции, компоненты которых, согласно спектральным

и другим признакам, вовсе нельзя отнести к числу молодых звезд. Такие системы расположены вне ассоциаций. Их существование, казалось, противоречило всему тому истолкованию наблюдательных данных, основы которого были изложены выше. Однако противоречие разрешилось очень просто. Дело в том, что мы классифицируем кратные звезды на обыкновенные системы и системы типа Трапеции по их конфигурациям в проекции на небесную сферу. Мы не знаем подлинных пространственных конфигураций. Между тем, в результате проектирования истинная система обыкновенного типа может превратиться в Трапецию. Вероятность такого «превращения» порядка одной седьмой. И поскольку обыкновенных кратных систем существует гораздо больше, чем систем типа Трапеции, сравнительно небольшой по численности класс молодых систем оказывается сильно засоренным «стариками» — ложными Трапециями.

Таким образом, основываясь только на наблюдательных данных и привлекая лишь грубые динамические соображения, мы не только находим новое подтверждение совместного возникновения звезд в кратной системе, но и узнаем, какой характер имеют конфигурации очень молодых кратных звезд. Кратные системы имеют часто вначале более высокую кратность, но могут в молодости потерять отдельные компоненты. В результате выясняются новые закономерности процесса группового возникновения звезд.

Приведенные примеры иллюстрируют отличие того подхода, который применяется астрофизиками для решения своих задач, от методов и приемов, применяемых физиками. Однако в отдельных случаях приемы астронома очень похожи на приемы, применяемые в физике. В качестве примера приведем замечательные работы академика Г. А. Шайна, относящиеся к проблемам эмиссионных линий в спектрах холодных гигантов.

До работ Шайна было известно, что эмиссионные линии в спектрах горячих звезд возникают в пространстве, окружающем звезду, иногда на значительном расстоянии от ее поверхности. Что же касается эмиссионных линий в спектрах холодных гигантов (это прежде всего линии бальмеровской серии водорода), то здесь вопрос оставался невыясненным. Было только известно, что относительные интенсивности различных линий бальмеровской серии резко отличаются от

интенсивностей, наблюдаемых в других астрофизических объектах, а также от расчетных данных, полученных для различных условий возбуждения водородных атомов.

Исследовав зависимости относительных интенсивностей линий серии Бальмера от силы полос окиси титана в спектрах некоторых переменных звезд типа М с эмиссионными линиями, Шайн пришел к выводу, что чем сильнее поглощение в полосах окиси титана, тем сильнее проявляется указанная аномалия. Это заставило его заподозрить, что окись титана поглощает кванты, испускаемые водородными атомами. Возникло очень смелое для того времени предположение, что эффективный слой, дающий эмиссию, расположен ниже слоя, где находятся поглощающие молекулы окиси титана. Однако эта гипотеза потребовала доказательств. Пришлось обратиться к малоизученному классу переменных красных гигантов типа S, в спектрах которых нет полос окиси титана. Вместо них имеются полосы окиси циркония, расположенные в других местах спектра. Наблюдения Шайна показали, что у звезд типа S уже нет той аномалии в интенсивностях линий бальмеровской серии, которая характерна для звезд типа М. Было таким образом блестяще показано, что дело не в аномальном возбуждении водорода, а в искажении интенсивностей водородных линий из-за поглощающего действия полос окиси титана. Дальнейшие работы только подтвердили этот вывод. Нам, современникам, почти казалось, что работа проведена в лаборатории, где исследователь по своему желанию меняет условия опыта.

Подчеркивая значение и огромную ценность наблюдательной работы, не следует забывать, что при решении многих вопросов теория играет не вспомогательную, а основную роль. Более того, теоретическая астрофизика выдвигает часто новые вопросы и иногда даже предсказывает новые явления. Еще бóльшую роль играет разработка теоретических моделей различных явлений, которые могут служить исходным пунктом для истолкования многих наблюдательных данных, например, модели внутреннего строения звезд, основанные на определенных гипотезах об источниках энергии и, особенно, тщательно разработанные модели распространения излучения в атмосферах звезд, теории ионизации и возбуждения в них. Сравнение теорий с наблюдениями спектров и других характеристик звезд всегда приводит к постановке

новых наблюдений и к открытию новых эмпирических закономерностей.

В этой связи следует упомянуть важное обстоятельство. Теоретическая астрофизика подсказала, и притом совершенно обоснованно, существование так называемых барионных звезд\*, т. е. сверхплотных конфигураций, которые имеют массы порядка солнечной, а радиусы—порядка нескольких километров. Несмотря на законченность теоретических расчетов, наблюдения до сих не дали прямых указаний на существование барионных звезд. Заподозренная недавно в этом отношении «рентгеновская» звезда в созвездии Скорпиона на самом деле вряд ли является барионной. Вместе с тем, не исключена возможность, что барионные звезды существуют в Галактике в большом количестве, но недоступны нашим наблюдениям. Обнаружение их было бы беспримерным триумфом теоретической астрофизики.

Приходится все же констатировать, что подавляющее большинство открытий совершается без теоретического предсказания, наблюдательным путем. Это и заставляет подчеркивать, что астрофизика, прежде всего,—наблюдательная наука.

Новейшие открытия еще раз показали, что во Вселенной мы все время сталкиваемся с новыми процессами и объектами, что появление новых средств исследования дает возможность обнаруживать вещество в неизвестных сейчас удивительных состояниях и формах. Достаточно для примера сослаться на мир галактик.

Тот факт, что все эти открытия не предсказываются теоретически, а являются результатом наблюдательной работы астрономов, указывает на умение природы проявлять себя в таком многообразии, которое теоретики пока не могут даже в малой степени познать.

Особенно поразительны в этом отношении факты, связанные с обнаружением так называемых квазизвездных источников радио- и оптического излучения (вероятно, все квазизвездные источники дают оба типа излучения, но в разной

---

\* Нейтронные и гиперонные звезды вместе иногда называются барионными звездами. Об открытии нейтронных звезд (пульсаров) см. примечание на стр. 47 настоящего сборника.

пропорции. Поэтому на практике иногда говорят о двух классах объектов).

Наблюдаемые в спектрах этих источников огромные смещения спектральных линий к красному концу (иногда удвоенные или утроенные длины волн) заставили астрономов после подробных дискуссий принять, что эти тела находятся на очень больших «космологических» расстояниях, т. е. что столь большие скорости являются результатом действия закона Хаббла, который описывает расширение системы галактик. Эти «космологические» расстояния измеряются несколькими миллиардами световых лет\*. Но в таком случае квазизвездные объекты (квазары) имеют очень большие светимости. Многие из них оказываются в сто раз более сильными генераторами лучистой энергии, чем самые яркие, сверхгигантские галактики. Иногда они превосходят по своей светимости Солнце в тысячу миллиардов раз и больше. Вместе с тем, судя по спектру, основная часть светимости обусловлена не звездами, а каким-то гигантским телом. Далее пришлось признать, что диаметры этих необычных тел во много десятков, а возможно и сотен тысяч раз меньше диаметров галактик. По мере накопления наблюдений приходится приписывать им новые, все более удивительные свойства. Так, обнаружен случай, когда за несколько недель светимость квазара выросла более чем в десять раз.

Сам квазар представляет собой, в имеющейся интерпретации, такое мощное выделение энергии в сравнительно малом объеме, что его можно было бы считать гигантским взрывным процессом. Но, как выяснилось, иногда наблюдаются еще более мощные вспышки.

Все это настолько осложнило положение, что появились сомнения в правильности «космологических» расстояний. Иными словами, возникло предположение, что красное смещение обусловлено не большим удалением, а другими причинами. Но никакого серьезного объяснения до сих пор не представлено.

Для истории науки должно быть интересно, что открытие квазаров вызвало огромное количество теоретических работ, в большинстве которых делались попытки, не дожи-

---

\* В настоящее время известны квазизвездные источники значительно более далекие. См. примечание на стр. 89 настоящего сборника.



даясь прояснения внешней картины явления, объяснить квазары как «коллапс» некоторой очень большой массы. Это был разительный пример стремления перескочить при изучении процесса через вторую ступень, о которой говорилось выше. Пытались объяснить явление, сущность большинства важнейших внешних проявлений которого совершенно неясна. Конечно, из этого ничего не получилось. Всякому астрофизику ясно, что сейчас важнее всего получить достаточно обширный наблюдательный материал, чтобы выяснить эмпирические закономерности явления. Тогда появится возможность понять, что происходит на доступной наблюдениям периферии этих объектов, не вникая сначала в механизм его устройства. Лишь после этого можно будет пытаться найти механизм выделения энергии.

Совершенно очевидно, что уже в ближайшие годы наблюдения дадут очень много интересного и нового о квазарах. Исчезающие угловые размеры в оптическом диапазоне волн крайне затрудняют их изучение. Достаточно представить, насколько было бы сложнее для нас понимание физической природы звезд, если бы вблизи нас не было нашей звезды—Солнца, которое представляется наблюдателю не точечным, а протяженным объектом, доступным для изучения в оптических и радиоволнах во всех подробностях. В отношении квазаров мы, по-видимому, находимся сейчас примерно в той же стадии, в которой находилась физика звезд в начале XIX столетия, когда еще обсуждался нелепый для современного образованного человека вопрос о возможности существования жизни под горячей поверхностью Солнца.

Мы не должны также забывать, что квазары, будучи отличными от галактик, имеют некоторые общие черты с ядрами галактик\*, и прогресс в их изучении несомненно повлияет на успехи в изучении квазаров. Во всяком случае, можно думать, что в ядрах многих галактик имеются очень массивные тела, также обладающие весьма необычными свойствами.

---

\* В последнее время все больше и больше подтверждается точка зрения В. А. Амбарцумяна о квазарах, как ядрах галактик, обладающих исключительно высокой активностью. См., например, примечание на стр. 402 настоящего сборника.

Открытие квазаров, необычных свойств ядер галактик и процессов освобождения гигантских количеств энергии в них говорит о том, что Вселенная содержит в себе много еще неизвестных и глубоких по их значению явлений. Это целиком подтверждает тезис диалектического материализма о неисчерпаемости природы и о полной независимости этих явлений от сознания познающего их человека.

Советские астрофизики, с самого начала стоявшие на этой позиции, имеют возможность без всякой предвзятости подходить к изучению новых явлений, раскрывающих перед астрономией необъятные горизонты.

Советская астрономия, оснащаясь новыми крупными телескопами и имея огромные возможности развития внегалактических наблюдений, вступает в свое второе пятидесятилетие, которое, несомненно, станет периодом еще более глубокого познания Вселенной и покорения ее просторов человеком.

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АСТРОНОМИИ\*

*Глубокоуважаемый  
Ректор Карлова университета,  
Дамы и господа, Дорогие друзья,*

С волнением и благодарностью принимаю я почетное звание доктора наук Карлова университета—одного из старейших и наиболее известных университетов мира и радуюсь тому, что в качестве члена этого ученого содружества буду иметь возможность укреплять еще более свои связи с моими чехословацкими коллегами.

В эти дни, когда в Праге собрался 13-й международный съезд астрономов, мы неоднократно обращаемся мыслью к тому времени, когда в этом славном городе жили и работали такие люди, как Тихо Браге и Кеплер, и проводим параллель с небывалым расцветом астрономической науки в сегодняшней социалистической Чехословакии.

Президент Международного астрономического союза Поль Свингс в своих речах на открытии съезда и на церемонии инаугурации двухметрового телескопа в Анджейове указал на блестящие заслуги современного поколения чехословацких астрономов и на широкие перспективы развития

---

\* Речь, произнесенная на официальной церемонии вручения В. А. Амбарцумяну диплома почетного доктора Карлова (Пражского) университета, в Праге, в августе 1967 г., во время XIII Генеральной Ассамблеи Международного астрономического Союза. Впервые была напечатана в сборнике В. А. Амбарцумяна «Проблемы эволюции Вселенной», Изд-во АН Арм. ССР, Ереван, 1968, стр. 232—235. Печатается по тексту этого сборника. В этой речи четко сформулированы взгляды автора об особом значении астрономии в развитии науки в прошлом и в будущем, определяемом возможностью изучения огромного многообразия состояний материи во Вселенной.

астрономии в этой стране. В связи с этим следует отметить, что новый подъем астрономии в Чехословакии совпадает с периодом новых астрономических открытий, значение которых выходит далеко за рамки астрономической науки.

Вернемся на минуту назад, ко времени Тихо Браге и Кеплера. Значение трудов Коперника, Тихо Браге, Кеплера и Галлилея, обобщенных затем в творениях Ньютона, заключалось не только в том, что геоцентрическая система мира была заменена гелиоцентрической и были объяснены движения планет. Это только одна сторона дела. Другая сторона дела заключается в том, что астрономические открытия того времени позволили Галлилею и Ньютону создать основы классической механики, бывшей в тот период наиболее существенной частью физики, т. е. положить основы точного естествознания.

Никогда, ни после этого, ни до этого астрономия не оказывала такого решающего революционного влияния на развитие всех наук и прежде всего механики и физики, как в ту эпоху.

Мы знаем, вместе с тем, что физика не осталась в долгу перед астрономией. Последние сто лет она поставляла непрерывно нам новые методы для исследования Вселенной и вооружила нас богатейшим арсеналом современной теоретической физики. Грандиозные успехи астрономии за прошедшие сто лет были бы немыслимы без этого мощного вооружения.

Хорошо известно, какого совершенства достигла теоретическая физика в течение первой трети нашего столетия благодаря появлению теории относительности и квантовой механики.

Стало казаться, что созданы основы для теоретического объяснения буквально всех явлений природы. Такие достижения, как создание ядерной техники, квантовой химии, полупроводниковых приборов, обладающих нужными для человека свойствами, наконец, создание лазеров, свидетельствовали, что благодаря огромной универсальности установленных теоретической физикой законов, человек не только может объяснить все, но и синтезировать устройства, обладающие свойствами, о которых раньше и думать нельзя было.

С этими достижениями перекликались успехи астрономов, которые, используя те же законы теоретической физики,

нашли объяснение свечению газовых туманностей и источников звездной энергии, построили теорию звездных спектров и модели белых карликов, состоящих из вырожденного вещества. Прояснилось много вопросов, относящихся к происхождению космических лучей и к природе дискретных источников радиозлучения. Нет сомнений, что известные нам законы теоретической физики позволят и в дальнейшем объяснить тысячи новых важных фактов, которые известны или станут в будущем известны астрономам.

Однако, несмотря на большую стройность современной теоретической физики, в ней все же имеются и пробелы. Например, нет еще законченной теории элементарных частиц. Эти пробелы кажутся многим несущественными и, во всяком случае, не имеющими отношения к тем загадочным явлениям, открытие которых потрясло до основания сегодняшнюю астрофизику.

Я имею в виду обнаружение весьма бурных форм активности ядер галактик и открытие квазизвездных источников излучения (квазаров). Нет сомнений, что между обоими этими классами объектов существует тесная связь. В этом сходятся как сторонники, так и противники космологического истолкования квазаров. Перед нами раскрылся целый мир новых объектов, с новыми поразительными свойствами.

Благодаря наблюдениям, произведенным с ракет, открылись источники рентгеновского излучения, и мы уже знаем, что среди них имеются объекты разной природы.

Но дело не только в открытии новых классов объектов. Обнаруживаются новые свойства уже известных небесных тел, новые формы их активности. Так, наш выдающийся коллега, профессор Аро из Мексики, известный своими исследованиями вспышек молодых звезд, сообщил нам на этом съезде о наблюдении им вспышки одной из звезд ассоциации Ориона, при которой яркость звезды за время порядка одного часа возросла примерно в 10 000 раз.

Действительно, мы переживаем ныне эпоху величайших астрономических открытий и при этом таких открытий, при которых вскрываются принципиально новые явления.

Встает вопрос, окажутся ли достаточными известные нам и оправдавшие до сих пор себя законы физики для объяснения всего этого грандиозного потока новых открытий? Сможем ли мы на их основе объяснить грандиозные взрывные

процессы в ядрах галактик, сопровождаемые выделением неимоверных количеств энергии и вещества, а также истолковать природу квазаров? Мне кажется, (здесь я высказываю только свое личное мнение), на это мало шансов. В таком случае, очевидно, потребуется расширение и обобщение наших представлений об основных свойствах материи.

Вместе с тем, это означает, что приближается эпоха, когда астрономия вновь станет источником новых идей и коренных изменений в физике.

Астрономам предстоит огромная по объему и неимоверная по трудности работа по подробному изучению новооткрытых классов объектов и явлений. Вот почему мы добиваемся установки все новых больших телескопов. Вот почему мы так радуемся введению в строй двухметрового телескопа в Чехословакии. Но нам нужны не только наземные телескопы. Ровно через пять недель человечество отметит десятилетие со дня запуска Советским Союзом первого искусственного спутника Земли. В связи с этим астрономы все больше занимаются проблемой установки больших телескопов на спутниках, а затем на Луне. Это потребует больших расходов. Но нет сомнения, что постепенно люди осознают необходимость этих затрат.

Так или иначе, перспективы астрономических исследований с наземных и внеатмосферных обсерваторий в ближайшее десятилетие прекрасны и вдохновляющи.

И если Вы спросите меня, что я чувствую в этот момент, получая почетную степень Карлова университета, то я отвечу, что жалею, что нахожусь не в том возрасте, когда получают не почетные, а обыкновенные степени, защищая соответствующие диссертации. Молодость, однако, не возвращается. Но мы, представители старшего поколения, можем сделать многое, чтобы помочь молодежи в решении предстоящих больших задач. Будем же трудиться для этого не покладая рук.

Разрешите выразить уверенность, что чехословацкие ученые окажутся в первых рядах, среди тех, кто решает эти большие новые проблемы, и вновь поблагодарить моих коллег из Карлова университета (Каролины) за оказанную мне высокую честь.

## ДИАЛЕКТИКА В СОВРЕМЕННОЙ АСТРОНОМИИ\*

В астрономии XX в. совершается грандиозная революция, быть может сравнимая по своему значению с коперниковской. Она вызвана открытием во Вселенной объектов качественно нового типа—активных ядер галактик, квазизвездных радиисточников (квазаров) и др. Явления, происходящие в этих космических телах, оказались совершенно необычными и потребовали коренного пересмотра многих астрофизических, космогонических, космологических представлений и теорий, поставив также под сомнение универсальность известных сейчас фундаментальных законов физики. Не исключено, что изучение Вселенной уже в недалеком будущем приведет к новой революции во всей системе физического знания.

Огромную роль в понимании существа процессов, которые происходят в современной астрономии, сыграли идеи диалектического материализма, развитые В. И. Лениным в работах «Материализм и эмпириокритицизм» и «Философские тетради». Следуя этим идеям, науке удалось не только проанализировать сложнейшие философские проблемы, поставленные современной астрономией, но и выдвинуть ряд принципиально новых представлений о структуре и эволюции Вселенной.

### О «ДИКОВИННОСТИ» ОТКРЫТИЙ АСТРОНОМИИ XX в.

Как отметил В. И. Ленин, характерной чертой развития физики начала XX в. был переход от привычного к непривычному, «диковинному», невозможному с точки зрения так называемого здравого смысла. Та же самая особенность четко прослеживается и в современной астрономии.

---

\* Соавтор—В. В. Казютинский. Печатается по тексту сборника «Ленин и современное естествознание», «Мысль», М., 1969, стр. 230—255.

До начала XX в. охваченная наблюдениями область Вселенной ограничивалась Солнечной системой и нашей звездной системой—Галактикой, строение которой было изучено лишь в ближайших окрестностях Солнца. Астрономы имели дело с объектами, известными по крайней мере уже три тысячи лет,—планетами, звездами, рассеянным газово-пылевым веществом. Основное внимание уделялось изучению пространственного распределения и движения этих объектов на основе классической, ньютоновской механики.

Гносеологические предпосылки, на которые опиралась астрономия того времени, состояли в следующем. Вне и независимо от сознания субъекта существует объективная реальность—материя; она отражается, копируется в научных понятиях и теориях, причем достижим классический идеал знания—адекватное, абсолютное знание объективной реальности в виде единственно возможной, а потому окончательной физической картины мира, основанной на ньютоновской механике. В рамках этой картины мира может быть построена наглядная механическая модель любого объекта, явления, процесса.

Считалось, что естествознание способно в принципе изучать «всю материю, т. е. «все существующее», в некоем абсолютном смысле. Именно так и формулировалась задача космологии, объект которой—Вселенная как целое—отождествлялся со всем материальным миром. Вселенная как целое считалась механической системой, безграничной в пространстве, бесконечной во времени и находящейся в неизменном, статическом состоянии.

Развитие современной астрономии показало, что простая и привычная картина Вселенной, созданная астрономией XVII—XIX вв., во многих отношениях является далекой от действительности. Это поставило ряд трудных гносеологических проблем. Создание релятивистской космологии с ее непривычными представлениями об искривленности пространства, которую нельзя представить себе наглядно, о нестационарности Вселенной, расширяющейся начиная с некоторого нулевого момента времени, когда Вселенная, согласно теории А. А. Фридмана, была стянута в точку, и т. д., могло казаться еще более «дикийным», чем в свое время открытие разрушимости атома. Непривычным в глазах большинства астрономов был сам метод математической гипотезы, с помощью



которого была построена теория «расширяющейся Вселенной». Этот метод направлен, как известно, на поиски математического «скелета» теории, которая лишь затем получает конкретную физическую интерпретацию.

В 1965 г. группа американских радиофизиков обнаружила так называемое реликтовое излучение, которое, возможно, возникло при взрывном образовании Метагалактики.

В астрофизике и космогонии наряду с созданием все более «изошренных» эмпирических средств изучения Вселенной возрастает роль средств теоретического исследования, в частности математики и теоретической физики. Далее, была осознана зависимость тех или иных конкретных выводов астрофизики и космогонии от существующей системы физического знания. Изменение физико-теоретических представлений, новые эмпирические данные лабораторной физики неизбежно приводили к пересмотру астрофизических и космогонических представлений, включая и такие, которые считались почти вечными истинами, требующими доработки лишь в деталях.

Необычными и «невозможными» для сторонников традиционных представлений были открытия в последние годы нестационарных (неустойчивых) объектов во Вселенной.

Резко нестационарными оказались некоторые фазы развития галактик. Например, в радиогалактиках происходят мощные процессы выделения энергии в результате взрывов в их ядрах\*. Открытие американскими астрономами А. Сандейжем и К. Линдсом (1963) аналогичного взрыва в одной из ближайших галактик было настоящей сенсацией. Еще более грандиозное явление представляют квазизвездные радиоисточники (квазары), открытые в 1963 г. американскими астрономами М. Шмидтом, Дж. Гринстейном и Т. Мэтьюсом. При взрывах в ядрах галактик выделяется энергия порядка  $10^{59}$ — $10^{60}$  эрг\*\*. Обнаружено также, что наряду с квазиустойчивыми группами и скоплениями галактик суще-

\* Представление о космогонической, в частности, взрывной активности ядер галактик было разработано В. А. Амбарцумяном в середине 50-х годов на основе анализа и обобщения наблюдательных данных о нестационарных явлениях в галактиках и их системах. Непосредственным стимулом для этого явилось открытие в 1952 г. радиогалактик.

\*\* См. второе примечание на стр. 51 настоящего сборника.

ствуется множество резко нестационарных групп и скоплений галактик, которые, расширяясь, довольно быстро распадаются; они должны были возникнуть сравнительно недавно. Явление расширения звездных ассоциаций, некоторых групп и скоплений галактик позволило обнаружить важнейшую закономерность космогонических процессов: космические объекты—как звезды, так и галактики—в момент образования получают большую кинетическую энергию, что и приводит во многих случаях к рассеянию соответствующих групп.

Эти открытия окончательно подорвали господствовавшую на протяжении многих веков догму о плавном и постепенном характере космической эволюции. Они привели к выводу, что идея «большого взрыва», давшего начало наблюдаемой нами Вселенной, является недостаточной и должна быть дополнена представлением о множестве взрывов, происходящих в разных местах и в разное время.

Особенности развития современной астрономии привели к попыткам истолковывать ее выводы в духе субъективного и объективного идеализма. Субъективно-идеалистические истолкования современной астрономии были порождены теми же гносеологическими причинами, которыми, как показал В. И. Ленин, было вызвано появление «физического» идеализма: 1) возрастанием роли математики в описании природы; 2) абсолютизацией принципа релятивизма, относительности нашего знания. А именно выдвигались следующие утверждения: раз математика, в частности метод математической гипотезы, позволяет установить существенные особенности астрономической картины Вселенной, значит, в процессе познания совершается «навязывание» субъектом природе ряда сложных математических закономерностей. А происходящая в астрономии смена различных представлений, гипотез и теорий свидетельствует, по мнению субъективных идеалистов, о том, что выводы астрономии не имеют отношения к объективной реальности. Иной была гносеологическая причина объективно-идеалистических спекуляций вокруг современной астрономии, которые основывались на неожиданности, «диковинности», ненаглядности новых представлений в астрономии. Этот факт пытались истолковать как доказательство сверхъестественной природы Вселенной. А наличие в теории «расширяющейся Вселенной» момента времени  $t=0$  рассматривали как бесспорное «научное доказательство» акта творе-

ния материального мира, который оказывается вторичным по отношению к «мировому духу».

Несостоятельность подобного рода «выводов» была раскрыта диалектическим материализмом—единственной философией, адекватной современному развитию наук о природе, в том числе и астрономии. Одно из основных гносеологических положений диалектического материализма заключается в том, что познание, носящее активный характер, отражает объективную реальность, причем в ходе развития науки достигается все большая точность, адекватность знания различным аспектам объективного мира.

Если говорить о роли математики в изучении Вселенной, то очевидно, что как раз все возрастающее многообразие открываемых астрономией новых явлений и возникающая в связи с этим необходимость обобщения результатов астрономических наблюдений и вызывают потребность в применении все более мощного и сложного математического аппарата. Математическая теория любого явления, изучаемого астрономией, какой бы абстрактной она не выглядела, в конечном счете представляет собой *обобщение* определенных эмпирических данных. Таким образом, математика в астрономии прежде всего орудие исследования реальных явлений.

Далее, ставя все более изощренные эксперименты и наблюдения, мы, конечно, как бы задаем природе все большее число вопросов, причем направленность этих вопросов зависит как от круга интересов субъекта, так и от существующей системы знания. Бесчисленное множество экспериментов ставится таким образом, чтобы ответить «да» или «нет» относительно предсказания той или иной теории. Несомненно, такая направленность вопросов природе должна оказывать известное влияние и на характер общих представлений о природе, составляемых на основе полученных ответов. Однако хорошо известно, что в процессе экспериментов и наблюдений природа со своей стороны ставит перед субъектом еще большее число вопросов, и подчас очень неожиданных. Например, астрофизик, изучающий строение отдаленных галактик, интересуется тем, из каких типов звезд, хорошо известных нам в нашей Галактике, они состоят. И вот при этих наблюдениях обнаруживаются вспышки Сверхновых, и таким образом открывается не только новый тип звездного «населения», но и новые процессы освобождения гигантских коли-

честв энергии в космосе, анализ физической природы которых является уже совершенно новой проблемой.

Бывает и так, что в ответ на довольно неопределенные наши вопросы природа отвечает другими, весьма определенными, но трудными вопросами. Так, когда астрономы стали вести с помощью радиотелескопов наблюдения монохроматических линий гидроксила для выяснения пространственного распределения молекул ОН в межзвездном веществе, то с первых же шагов они столкнулись с крайне компактными источниками, испускающими радиоволны в тех же спектральных линиях, и таким образом неожиданно возник очень интересный и трудный вопрос о природе этих объектов. Именно те случаи, когда природа давала неожиданные для исследователя ответы или ставила сама еще более неожиданные вопросы, являлись наибольшим стимулом для научного прогресса.

Неожиданность, «диковинность» важнейших открытий астрономии XX в. свидетельствует о несостоятельности субъективно-идеалистических истолкований ее результатов. О том же самом в сущности говорит и факт ненаглядности многих из них. Ведь наглядность связана с особенностями и условиями познания человеком окружающего мира. Но сами изучаемые явления существуют независимо от нашего сознания и потому вовсе не обязаны протекать наглядно с нашей, человеческой точки зрения.

Но может быть, неожиданность и «диковинность» явлений, открытых современной астрономией,—свидетельство их «сверхъестественности»? Для ответа на этот вопрос достаточно вспомнить, что многие научные факты и теории могли в свое время казаться сверхъестественными и в конечном счете порожденными нематериальным фактором. Однако по мере развития естествознания объективным идеалистам приходилось переносить представления о подобного рода факторах на все новые и новые, относительно мало исследованные объекты познания—явления, использовавшиеся ранее для всевозможных мистических спекуляций, оказывались на самом деле подчиненными лишь естественным законам. Нет сомнения, что аналогичная участь ожидает также и всю современную аргументацию такого рода.

Что касается креационистских выводов, сделанных на основе теории «расширяющейся Вселенной», то они, разуме-

ется, не имеют никакого отношения к физическому содержанию этой теории и вызваны отождествлением «Вселенной Фридмана»—Метагалактики—со «всей материей». Между тем объектом познания в науках о природе являются всегда лишь стороны, аспекты, фрагменты неисчерпаемого материального мира, выделяемые субъектом в процессе общественно-исторической практики. Правда, объект исследования естествознания в целом и каждой из естественных наук в частности все более расширяется, а наши знания о природе становятся все более адекватными ей, но это не меняет того факта, что в каждый данный момент естествознание имеет дело лишь с отдельными аспектами той части объективной реальности, которая выделена имеющимися в данный момент эмпирическими и теоретическими средствами. Космология в этом отношении не занимает какого-либо особого положения среди других естественных наук—«вся материя» (материальный мир как целое) не является сейчас и никогда не станет ее объектом. Неправомерна сама постановка такой проблемы.

Различные «модели Вселенной», теоретически конструируемые в космологии,—это в сущности модели систем, реализующих многообразие физических условий, явлений, взаимодействий, объектов и масштабов, допускаемых той или иной космологической теорией (т. е. «всего существующего» с точки зрения данной теории). Эти системы могут в принципе отождествляться не только с Метагалактикой, но и с физическими системами большего масштаба (или даже большего порядка), включающими в себя в качестве своих частей как нашу, так, возможно, и другие, пока неизвестные нам, метагалактики.

Данные современной астрофизики не исключают предположения о существовании других метагалактик. Но пока мы ничего не знаем ни о них, ни о способах их связи и взаимодействия с нашей Метагалактикой. Тем не менее существование систем, включающих не один, а множество миров (и даже антимиров), предполагается сейчас в некоторых космологических теориях. Значит, говоря о Вселенной как об объекте космологии, мы не во всех случаях имеем в виду один и тот же физический объект. Моделям Вселенной, построенным на основе различных космологических теорий, могут соответствовать и разные «оригиналы».

Утверждения, что космология на каком-то этапе своего

развития сможет подойти к описанию «физического аспекта» материального мира в целом (всего существующего в каком-то окончательном, абсолютном смысле) или, более того, что мы уже вплотную подошли к такому этапу ее развития, вытекают из абсолютизации определенного, по необходимости ограниченного уровня знания. Ни одна из таких попыток, предпринятых в прошлом, не имела успеха, и по мере прогресса естествознания все более подтверждается и углубляется ленинский тезис о неисчерпаемости материального мира. Если существование «вселенных» большего порядка, чем наша Метагалактика, будет доказано, их также необходимо будет рассматривать не как «все существующие», а лишь как нечто соответствующее новой ступени в исследовании материального мира, которая не исчерпает его даже в некоторых основных чертах.

Вселенная как объект космологии—это, следовательно, целостный аспект «всего существующего» *применительно к определенному уровню человеческой практики*. То, что сегодня мы считаем «несуществующим», завтра может вступить в сферу человеческой практики, окажется, таким образом, существующим и будет включено в наше представление о Вселенной.

Следовательно, утверждения, что космология занимается сейчас исследованием эволюции «всей материи», «материального мира как целого», являются неверными. А это в свою очередь означает, что «начальный момент» эволюции Метагалактики не является каким-то абсолютным «началом всего», а представляет собой момент возникновения протоматерии, из которого затем образовались известные нам формы материи.

Итак, современное развитие астрономии, как и всего естествознания, служит замечательным подтверждением теоретико-познавательных принципов диалектического материализма. Сейчас, как и раньше, выводы астрономии описывают существующую вне и независимо от субъекта объективную реальность, точнее, определенные ее стороны. Но природа неизмеримо богаче сложившихся в любой данный момент представлений о ней, и она настойчиво вынуждает нас отказываться от старых представлений и вводить новые, подсылаемые опытом. В этом смысле, как ни «дикивинны» с точки зрения предшествующего развития астрономии совре-

менные данные о Вселенной, к ним вполне могут быть отнесены слова В. И. Ленина о непривычных и казавшихся «странными» открытиях в физике микромира: «Все это только лишнее *подтверждение* диалектического материализма» [1].

## ПРИНЦИП ЕДИНСТВА МИРА И ПРИНЦИП РАЗВИТИЯ В СОВРЕМЕННОЙ АСТРОНОМИИ

Все многообразие различных методов изучения Вселенной опирается в конечном счете на два важнейших философских принципа: принцип единства мира и принцип развития.

Разумеется, оба этих принципа применяются в астрономии (как и в других естественных науках) не в общепhilosophической форме, в которой они отвлечены от конкретного содержания. Они модифицируются соответственно особенностям изучаемых объектов. Первый из них обосновывает возможность, необходимость и правомерность экстраполяции законов и теорий физики на различные космические объекты, второй же требует эволюционного подхода к этим объектам, структура которых оказывается обусловленной их происхождением и развитием.

В астрономии XVII—XIX вв. структура космических систем изучалась безотносительно к их развитию, тогда как космогония, в значительной мере изолированная от других разделов астрономии, исходила в основном из умозрительных допущений, а ее выводы были гипотетическими и крайне неопределенными. Объяснялось все это специфическими трудностями изучения космогонических явлений и отсутствием в то время достаточного количества эмпирических данных о процессах изменений во Вселенной, а также возможных прошлых и будущих состояниях космических систем.

Единство мира по сути сводилось к утверждению универсальных законов классической механики, применимости их к любым объектам во Вселенной и к Вселенной как целому, («всей материи»), однородности явлений в разных частях Вселенной, а некоторые астрономы выдвигали даже представление о полном тождестве структуры космических систем разных порядков. Идея развития в астрономии приняла первоначально форму механистического эволюционизма. В соответствии с традицией, восходящей к учениям древних фило-

софов, принималось, что космические тела и их системы возникли путем сгущения разреженного вещества, все последующие их состояния были почти стационарны и эволюция их состояла в медленном и плавном переходе от одного стационарного состояния к другому. Конкретная форма, которую первоначально приняли идеи единства и развития мира, ограниченная уровнем своего времени, определила как общий подход к изучению Вселенной, так и в конечном счете и теоретические выводы о структуре и эволюции Вселенной, полученные на основе этого подхода.

Бурный прогресс астрономии за последние десятилетия, доказавший ограниченность прежних представлений о Вселенной, потребовал и коренного пересмотра методологии, основанной на механистических принципах.

Анализ огромного, все увеличивающегося материала о космических системах привел к выводу о громадном качественном разнообразии физических условий и явлений во Вселенной, которые невозможно втиснуть в узкие механистические рамки. Вместе с тем изучение нестационарных явлений во Вселенной показало, что глубокое изучение структуры космических объектов возможно лишь на основе рассмотрения их эволюции, определяющей наиболее характерные черты этих объектов в их современном состоянии.

Описание многих новых явлений, открытых современной астрофизикой, было получено, исходя из новых фундаментальных физических теорий—квантовой механики и теории относительности. Появился соблазн считать эти теории способными описать даже всю совокупность астрофизических явлений—и уже известных, и еще не открытых, так как небесные тела состоят из тех же самых элементарных частиц, с которыми имеет дело земная физика. Тем самым в сущности повторилась старая история: стали считать, что бесконечное число явлений природы может быть описано исходя из ограниченного числа фундаментальных теорий—на этот раз теорий современной физики. Сторонники подобных взглядов полагают, что явления, например, в мире галактик не представляют собой ничего качественно нового по сравнению с явлениями в системах меньшего масштаба. Отсюда, в частности, делается вывод и о том, что в рамках современных физических законов и теорий могут получить истолкование также все стадии космогонических процессов, будь то процес-



сы происхождения и развития планет, звезд, галактик или даже Метагалактики.

Но в современной астрономии было сформулировано и совершенно иное понимание единства и развития мира. Суть его состоит в том, что каждому уровню материального мира соответствуют свои собственные структурные и эволюционные закономерности. Хотя космические объекты состоят из тех же самых элементарных частиц, с которыми имеет дело земная физика, в космосе могут приобретать значение такие «интимные» свойства элементарных частиц, которые в земных условиях мало заметны или не проявляются вовсе. Фундаментальные физические теории, как уже известные, так и те, которые физике еще предстоит создать, могут в принципе иметь лишь ограниченную область применимости, т. е. являются универсальными лишь в отношении определенного круга явлений. Следовательно, мы должны считаться с возможностью (и необходимостью) их пересмотра—уточнения и обобщения—по мере изучения все новых и новых областей материального мира. Это отнюдь не исключает того, что возможности уже существующих, «старых» теорий никогда нельзя будет полностью исчерпать: в них заключено еще множество различных «сюрпризов». Тем не менее дальнейшее развитие физики и астрономии с этой точки зрения будет связано с формулировкой фундаментальных теорий все большей степени общности. Иными словами, принцип единства мира следует понимать диалектически. Это—единство, связанное с бесконечным многообразием материального мира. Представление о том, что бесконечное многообразие явлений, которые астрофизика изучает сейчас или сможет изучать в будущем, может быть описано ограниченным количеством фундаментальных физических законов и теорий, является недостаточным. Более плодотворной следует считать идею о многообразии природы и на уровне законов.

Ясно также, что закономерности развития объекта на любом структурном уровне организации материи могут быть обусловлены такими факторами, которые мало заметны при рассмотрении стационарных, равновесных состояний объекта, так что особое внимание следует обратить на поиски и изучение неравновесных состояний космических тел, в которых происходят сравнительно быстрые изменения.

Обнаружившиеся в современной астрономии различия в

истолковании принципов единства и развития мира привели к разработке и весьма различных методологических подходов к изучению Вселенной и в конечном счете к разработке противоположных по содержанию космологических, астрофизических, космогонических теорий.

В космологии первый из этих подходов состоит в построении различных однородных и изотропных «моделей Вселенной», соответствующих различным частным решениям уравнений общей теории относительности, и изучении их поведения во времени. Эти модели сравниваются затем с наблюдениями и уточняются на основе новых фактических данных.

Существует мнение, что релятивистские космологические модели появились сначала как продукт чистой «игры ума», совершенно независимый от каких бы то ни было эмпирических данных, и лишь впоследствии нашли эмпирическое «оправдание». Такое мнение является во всяком случае неточным. Применение в космологии—как и в физическом познании вообще—метода математической гипотезы отнюдь не избавляет от необходимости обращения к эмпирическим данным и вовсе не только «в конечном счете», для «контроля» правильности теории. То, что релятивистская космология возникла как попытка согласовать теорию относительности с рядом фактов и вытекающих из наблюдения гипотез, неоднократно подчеркивал сам Эйнштейн.

Важнейший факт, из которого он исходил, заключался в том, что в ньютоновой теории Вселенной возник ряд неприятных парадоксов, непреодолимых в рамках этой теории. Следовательно, применение в космологии релятивистской теории было не только оправданным, но и неизбежным. Далее, отмечал Эйнштейн, средняя плотность вещества в пространстве не равна нулю, что приводит к постановке вопроса: можно ли эту подсказываемую опытом гипотезу согласовать с общей теорией относительности? Распределение звезд в пространстве казалось Эйнштейну однородным. Исходя из этого, он рассматривал структуру Вселенной в предположении однородности и изотропии (материя распределена в пространстве непрерывно, с постоянной средней плотностью, ее свойства и поведение в каждый момент одинаковы во всех точках и по всем направлениям). Эта гипотеза, названная впоследствии космологическим принципом или

космологическим постулатом, позволяет очень упростить вычисления, так как единый пространственно-временный континуум расщепляется на обычное трехмерное пространство и универсальное космическое время.

Наконец, именно эмпирический факт незначительности скоростей звезд по сравнению со скоростью света заставил Эйнштейна модифицировать космологические уравнения, введя в них особую постоянную (так называемый  $\Lambda$ -член), необходимость которой не вытекала из теории; единственное назначение ее первоначально состояло в том, чтобы сделать Вселенную статичной. Эйнштейн сначала, видимо, не был знаком с работами В. Слайфера относительно «красного смещения» в спектрах «туманностей», оказавшихся впоследствии другими галактиками. В этих работах, выполненных еще в 1912—1914 гг., было обнаружено, что линии спектров многих «туманностей», природа которых являлась в то время предметом острых дискуссий, смещены к красному концу по сравнению с их нормальным положением. В начале 20-х годов «красное смещение» было измерено уже у десятков «туманностей».

Наиболее естественным было объяснение этого явления на основе эффекта Доплера. Отсюда следовало, что «туманности» удаляются от нас с довольно высокими скоростями: наибольшие из них достигали примерно 1000 км/сек. В 1924—1926 гг. Э. Хаббл доказал, что эти «туманности» представляют собой подобные нашей Галактике звездные системы, принадлежащие системе еще более высокого порядка—Метагалактике. В 1929 г. Э. Хаббл и М. Хьюмасон установили, что «красное смещение» примерно пропорционально расстояниям галактик от нас. В дальнейшем наличие «красного смещения» и его приблизительная пропорциональность расстоянию были подтверждены для многих сотен галактик и других внегалактических объектов. Наибольшая из обнаруженных сейчас скоростей удаления превосходит уже 240 000 км/сек, т. е. 0,8 скорости света!\*

---

\* Недавно открыты два квазизвездных источника (OQ 172 и ON 471), красные смещения которых соответствуют скоростям их удаления, превышающим 0,9 скорости света, т. е. 270.000 км/сек. Соответствующие этим красным смещениям расстояния, при различных космологических моделях Вселенной, порядка 10 миллиардов парсек.

Когда создавалась релятивистская космология (1917), работы Слайфера были известны лишь узкому кругу астрономов. Однако еще до создания теории «расширяющейся Вселенной» Эйнштейн неоднократно обсуждал работы, в которых содержались ссылки на выводы В. Слайфера. Остается предположить, что, уже зная об эффекте «красного смещения» в спектрах «туманностей», он не придавал ему особого значения: в противном случае для стремления построить модель именно статической Вселенной не было бы достаточных эмпирических оснований.

А. А. Фридман [2], показавший в 1922—1924 гг., что решения уравнений общей теории относительности являются, вообще говоря, нестационарными (т. е. нестационарными являются соответствующие этим решениям теоретические вселенные), — исходил в основном из внутренней логики развития самой релятивистской космологии. Но и его работы нельзя считать чисто умозрительными, так как в них используются те же самые фактические данные, которые анализировал Эйнштейн и которые в сущности были достаточны, чтобы сделать вывод о нестационарности Вселенной. Поведение «моделей Вселенной» при  $\Lambda = 0$  определяется, согласно А. А. Фридману, некоторым критическим значением средней плотности вещества: если плотность в данный момент больше критического значения, модель попеременно расширяется и сжимается (осциллирующие, или пульсирующие, модели), если же плотность равна критическому значению или меньше, модель неограниченно расширяется (монотонно расширяющиеся модели).

Вывод А. А. Фридмана о нестационарности рассмотренных им теоретических вселенных (миров) не сразу привлек к себе внимание. И не только потому, что работы А. А. Фридмана были недостаточно хорошо известны; даже тем, кто был с ними знаком, этот вывод казался слишком необычным, во всяком случае требующим серьезного подтверждения. Он казался «подозрительным» и Эйнштейну, который затем, однако, признал свою ошибку. Дальнейшая конкретизация теории А. А. Фридмана была дана в 1927 г. бельгийским математиком Ж. Лемэтром, который пришел к выводу, что вещество, давшее начало Метагалактике, должно было находиться в сверхплотном состоянии, представляя собой некий

«первоатом», причем начало расширения носило взрывной характер [3].

Космологическая теория А. А. Фридмана, несомненно, явилась крупным шагом вперед по сравнению с ньютоновской космологией. Наблюдения подтвердили вытекающие из теории выводы о неустойчивости Метагалактики и, по-видимому, ее взрывном возникновении. Однако эмпирическое подтверждение *некоторых* следствий теории А. А. Фридмана, конечно, вовсе не означает, что надежно обоснована *вся* теория со всеми принятыми в ней допущениями и идеализациями. «Модели Вселенной», построенные на основе теории А. А. Фридмана,—это лишь первые попытки математического описания расширяющейся Метагалактики, чрезвычайно упрощенные и пока еще недостаточно плодотворные.

Развитие общей теории Метагалактики до самого последнего времени сдерживалось недостатком фактического материала. Например, эмпирические оценки средней плотности массы в Метагалактике все еще крайне неточны. Некоторые из них на порядок или два превышают «критическую» плотность ( $2 \cdot 10^{-29}$  г/см<sup>3</sup>), другие, несколько более обоснованные, дают значения меньшие, чем «критическая» плотность, третьи—значения, близкие к «критической» плотности. Отсюда отсутствие среди сторонников теории однородной изотропной Вселенной согласия не только насчет того, какую именно «модель Вселенной» следует предпочесть, но даже какой тип моделей больше соответствует действительности—монотонно расширяющиеся или осциллирующие.

Несмотря на формальную безукоризненность многих однородных изотропных «моделей Вселенной», с одной стороны, и ограниченность имеющихся пока эмпирических данных—с другой, уже сейчас ясно, что исходное допущение, принятое при построении этих моделей,—космологический постулат—является весьма далеким от условий в реальной Метагалактике. Исследованиями, выполненными за последние десятилетия, была показана правомерность и актуальность рассмотрения не только простейших решений уравнений общей теории относительности, связанных с допущением однородности и изотропности, но и решений не столь тривиальных, реализующих более интересные и в некоторых случаях более «экстравагантные» возможности, допускаемые этими уравнениями. В результате выяснилось, что многие

выводы теории «расширяющейся Вселенной» отнюдь не заслуживают безусловного доверия. В частности, учет возможных отклонений от изотропии и однородности показывает, что скорость расширения Метагалактики может быть различной в разных областях, причем расширение некоторого пространственного объема в одной области может сопровождаться сжатием его в смежной области. Отсюда следует, что однородное расширение Метагалактики «из точки» должно рассматриваться как слишком сильная, неоправданная идеализация. Вероятно, объем Метагалактики в «начальный момент» был хотя и сравнительно небольшим, но отличным от нуля, а начальная плотность вещества—очень высокой, но отнюдь не бесконечной.

Открытие «реликтового излучения», предсказанного на основе теории А. А. Фридмана (если подтвердится предлагаемая ныне его интерпретация), может означать, что в прошлом плотность вещества в Метагалактике была в миллиард раз больше, чем сейчас. Но была ли она еще намного более значительной, пока нельзя утверждать. Это должны показать дальнейшие наблюдения.

Далее, вводимое в теории однородной изотропной Вселенной понятие однозначного (единого) мирового времени оказывается применимым лишь в ограниченных, довольно узких рамках в теории анизотропной неоднородной Вселенной (например, в том ее варианте, который развивается А. Л. Зельмановым). Это значит, что понятие состояния в данный момент времени к Метагалактике как целому, строго говоря, неприменимо и, следовательно, об эволюции Метагалактики нельзя говорить как о последовательной смене ее состояний. Наконец, можно привести уже достаточно обоснованные эмпирические данные, которые говорят о крайней неоднородности распределения вещества в Метагалактике. Это особенно убедительно доказывает необходимость отказа от космологического постулата как от слишком сильного упрощения.

Дальнейшее развитие теории структуры и эволюции Метагалактики должно идти по пути все более тесного увязывания ее с результатами наблюдений, количество которых быстро растет. Когда наблюдения дадут нам достаточно подробный фактический материал о распределении и движении масс в Метагалактике, можно будет подставить в космо-

логические уравнения не произвольные, а реальные условия, соответствующие ее современному состоянию, а также думать о других, более точных уравнениях.

Еще более рельефно два указанных подхода к изучению Вселенной можно проследить в астрофизике и космогонии.

В астрофизике на основе принципов первого из этих подходов были разработаны многочисленные модели внутреннего строения звезд разных типов. Основанные на упрощенных, но все же, казалось бы, довольно разумных предположениях, эти модели в ряде случаев могут быть—с большим успехом—согласованы с некоторыми из известных фактических данных о различных характеристиках звезд. Но, несмотря на гигантскую по объему работу в этом направлении, на основе современной теории внутреннего строения звезд не было предсказано какого-либо принципиально нового явления, которое было бы затем обнаружено наблюдениями, хотя астрофизика буквально переполнена неожиданными открытиями. С другой стороны, после открытия новых фактов их обычно удавалось «согласовать» с теорией путем введения более или менее произвольных дополнительных гипотез. Все это лишает разработанные в настоящее время модели внутреннего строения звезд значительной части их ценности, говорит об их недостаточности. Еще более серьезными были трудности, возникшие при разработке в рамках указанного подхода различных космогонических гипотез и теорий (из которых наибольшей популярностью пользуется сейчас теория, основанная главным образом на работах Ф. Хойла, Я. Оорта, М. Шварцшильда [4]).

Это доказывало, что способ построения астрофизических и космогонических теорий должен быть изменен. Изучение структуры и эволюции космических объектов необходимо вести на основе *последовательного обобщения* наблюдательных данных (тем более что результаты исследований сплошь и рядом оказываются качественно новыми, «неожиданными» для нас). Только после этого должна ставиться задача построения их теории.

Сначала необходимо с достаточной степенью уверенности установить, что происходит в процессах космической эволюции,—эта задача сама по себе очень сложная и трудоемкая, иногда отнимающая много времени. Особого внимания заслуживают те эмпирические данные, в которых «следы» кос-

могонических процессов выявляются с наибольшей отчетливостью.

Это, во-первых, нестационарные объекты, важнейшая роль которых в космической эволюции была подсказана диалектико-материалистической концепцией развития. Как известно, В. И. Ленин, характеризуя диалектико-материалистическую концепцию развития, главное внимание обращал на вопрос об источнике развития. Он подчеркивал, что все явления в мире выступают как единство (тождество) противоположностей. Это означает «признание (открытие) противоречивых, *взаимоисключающих*, противоположных тенденций во *всех* явлениях и процессах природы...» [5]. Каждая из противоречивых сторон единого целого способна превращаться в свою противоположность, противоположности переходят друг в друга; взаимодействие, «борьба» противоположностей и является источником развития.

Диалектико-материалистическое положение о внутренних противоречиях как источнике развития помогло понять значение нестационарных объектов во Вселенной как *закономерных фаз* космической эволюции, играющей в ней решающую роль. Они представляют собой *поворотные пункты* в развитии космических тел и систем, связанные с их переходом из одного состояния в другое, или, как выяснилось позднее, также с рождением новых тел; мы можем непосредственно наблюдать здесь процессы изменения их состояния. Дальнейшие исследования в этом направлении позволили предсказать многие явления нестационарности в звездных системах, включая и те, открытие которых воспринималось многими как неожиданность. Они открыли путь для более полного понимания различных космогонических процессов.

Во-вторых, ценную информацию о характере космогонических процессов несут факты о неоднородностях в пространственном распределении космических объектов, например звезд и галактик, так как эволюционные изменения в звездных группах и скоплениях, в группах и скоплениях галактик можно проследить с большой достоверностью с помощью методов статистической механики звездных систем. Конечно, в этих (как и в любых других) фактических данных самих по себе еще не содержится их однозначное физико-теоретическое истолкование. Обобщение этих данных невозможно без введения в нужные моменты различных физических гипотез,



построения моделей и т. д. Но все же исходя из обобщения этих данных изучение процессов изменений в различных космических телах и их системах можно производить, не делая слишком произвольных или сомнительных допущений.

В-третьих, большого внимания заслуживают и фактические данные относительно объектов одного и того же типа, находящихся на разных стадиях развития. Например, эволюционная интерпретация диаграммы звездных состояний Герцшпрунга—Рессела дает чрезвычайно много для понимания процессов звездной эволюции. Однако связывание различных состояний звезд на диаграмме Герцшпрунга—Рессела в эволюционный ряд (или эволюционные ряды) может производиться на основе самых различных, в том числе и взаимоисключающих, гипотез; для выбора между ними требуется привлечение данных, не содержащихся в диаграмме (например, выводов звездной статистики). Таким образом, эмпирические сведения о звездной эволюции, которые содержатся в диаграмме Герцшпрунга—Ресселя, носят довольно косвенный характер и надежная их «расшифровка» оказывается очень непростым делом.

Анализ эмпирического материала о наблюдаемых в космических телах и их системах изменениях позволяет сформулировать обоснованные гипотезы относительно механизма и физической сущности процессов, вызывающих наблюдаемые изменения. Эти гипотезы, касающиеся отдельных изменений и подсказанные в отличие от разного рода спекулятивных схем эмпирическими данными, являются важнейшей частью теоретического истолкования различных фаз космогонических процессов. Они помогут построить их достаточно адекватные модели и в конечном счете создать обоснованную теорию этих процессов. «Направляющим стержнем» на всех этапах построения такой теории должны быть выводы, вытекающие из обобщения фактических данных. При построении теорий различных космогонических процессов на основе обобщения фактических данных не следует закрывать глаза на трудности, которые возникают при попытках объяснить изучаемые явления на основе старых представлений. Наоборот, сосредоточивая внимание на этих трудностях и оценивая их, необходимо анализировать возможность того, что мы столкнулись с качественно новыми явлениями, и пытаться определить.

направление, в котором соответственно надо изменить привычные представления.

Таким образом, изучение структуры и эволюции космических систем должно, как правило, начинаться с решения отдельных, частных задач, не требующих введения произвольных гипотез, т. е. с изучения элементарных космогонических процессов; после того как будут накоплены достаточно многочисленные и надежные выводы о закономерностях таких процессов, можно будет перейти к изучению эволюции космических систем как целого.

Исследования, основанные на систематическом применении такого подхода в звездной космогонии, начались впервые в 30-х годах в Ленинградском университете и продолжаются сейчас в Бюраканской астрофизической обсерватории.

Анализ фактических данных относительно стационарности или нестационарности звезд и звездных групп, входящих в Галактику, показал, что в противоположность общепринятым ранее представлениям наша Галактика является системой, в которой происходят бурные и подчас весьма быстрые изменения\*.

Применение принципов звездной динамики к открытым звездным скоплениям привело к выводу, что даже если такие скопления находятся в «стационарном» состоянии, в результате взаимодействия звезд они должны как бы испаряться. Отдельные звезды с течением времени уходят из скопления подобно молекулам на поверхности жидкости. В результате этого процесса многие скопления должны будут исчезнуть в течение всего лишь нескольких сотен миллионов лет, а некоторые из них в течение десятков миллионов лет [6].

Такому же анализу была подвергнута совокупность визуально-двойных звезд Галактики. Выяснилось, что процессы распада широких звездных пар, происходящие вследствие их встреч со звездами окружающего поля, доминируют над

---

\* Обнаружение в мире звезд и галактик многих нестационарных явлений динамической и физической природы, связанных с их эволюцией, обоснование тесной связи нестационарных явлений с процессами возникновения и эволюции звезд и звездных систем является заслугой В. А. Амбарцумяна и его научной школы. Об этом подробнее см. статью «Нестационарные объекты во Вселенной и их значение для исследования происхождения и эволюции небесных тел» (стр. 372 настоящего сборника).

процессами возникновения новых пар при случайных сближениях звезд. Количество одиночных звезд в общем звездном поле Галактики постоянно растет за счет распада скоплений и визуально-двойных звезд, причем этот процесс идет только в одном направлении. Таким образом, распад и рассеяние (в полном соответствии со вторым началом термодинамики) характеризуют *общую направленность* процессов в нашей Галактике и, как оказалось впоследствии, в других галактиках.

Установление таких фактов позволило также сформулировать понятие «короткая шкала» возраста Галактики и образующих ее звезд. Согласно «долгой шкале», принятой в начале 30-х годов, предполагалось, что возраст звезд Галактики составляет  $10^{12}$ — $10^{13}$  лет. Но открытие неизбежного распада звездных групп и скоплений за сравнительно короткие сроки свидетельствовало, что Галактика в ее современном состоянии не может иметь возраст, превосходящий (по порядку величины)  $10^9$ — $10^{10}$  лет.

Что касается идеи образования звездных систем и звезд из разреженного газа, то в 40—50-е годы начало все более определенно выясняться, что она лишена необходимой наблюдательной основы, является в сущности произвольной и до некоторой степени стала даже предрассудком. Можно указать на три группы косвенных, но очень отчетливых фактов, свидетельствующих о том, что начальным состоянием вещества, из которого образовались космические объекты, было не разреженное, а плотное или сверхплотное состояние и что они образовались не в ходе постепенной и медленной конденсации, а в результате процессов дезинтеграции, распада, взрыва.

Первая группа фактов относится к звездным ассоциациям—недавно возникшим группам звезд, распадающимся непосредственно после своего рождения [7]\*. Эти системы в своем большинстве оказались нестационарными в полном смысле слова, поскольку входящие в них звезды быстро удаляются друг от друга. Они не могли образоваться непосредственно из диффузного вещества в результате гравитационной неустойчивости, так как группа звезд, возникающая

---

\* См. статью «Эволюция звезд и астрофизика» (стр. 213 настоящего сборника).

подобным путем, была бы во всех случаях стационарной. Наблюдаемые особенности ассоциаций можно объяснить без натяжек и противоречий лишь в том случае, если мы допустим, что протозвезды представляют собой тела совершенно иной природы, чем туманности или обычные звезды. Эти тела должны обладать большими массами и сравнительно малыми радиусами, что говорит об их высокой плотности. Протозвезды должны заключать в себе громадные количества потенциальной энергии. В результате дробления их на части возникают «осколки» с массами порядка звездных масс. Эти «осколки» неустойчивы и быстро превращаются в звезды. Оставшаяся масса бывшей протозвезды образует туманность. Часть сосредоточенной в протозвезде потенциальной энергии превращается в кинетическую энергию расширения звездных групп и связанных с ними диффузных туманностей.

Эта гипотеза не связана с построением каких-либо теоретических моделей протозвезд и не рассматривает также конкретного механизма их превращения в звездные группы и скопления. Свойства дозвездного вещества, возможно, настолько своеобразны, что объяснение их на основе современных знаний об элементарных частицах окажется затруднительным. Необходимо сначала найти различные внешние проявления свойств дозвездного вещества, собрать как можно больше фактических данных о них, изучить их закономерности. Только тогда можно будет сделать обоснованные выводы о природе протозвезд.

Есть основания считать, что для описания процессов звездообразования потребуется обобщение некоторых фундаментальных законов физики в их современной форме, например закона сохранения вращательного момента, а может быть, даже и закона сохранения энергии. Как показывает история закона сохранения энергии, физика уже не раз сталкивалась с нарушениями этого закона в *его конкретной форме*, ограниченной лишь известными в данное время видами энергии. Тем самым возникала необходимость обобщения закона сохранения энергии, распространения его на все новые, ранее неизвестные виды энергии, что соответственно приводило к развитию самого понятия энергии в физике. Достаточно вспомнить, например, формирование представлений о механическом эквиваленте тепла, введение понятия

энергии покоя тела в специальной теории относительности и др. При каждом из таких обобщений идея сохранения энергии распространялась на более широкий, чем раньше, класс величин.

По-видимому, того же следует ожидать и при дальнейшем изучении процессов формирования галактик и звездных скоплений. Сначала были некоторые основания предполагать, что необычные свойства протозвезд и возможные нарушения известных нам законов физики могут объясняться сверхвысокой плотностью протозвезд. В настоящее время кажется более вероятным, что причиной этого является не столько сверхвысокая плотность протозвезд, сколько их гигантская масса.

Вторая группа фактов, из которых может быть сделан вывод о существовании массивных и плотных протозвезд, связана со звездной эволюцией. В 1954 г. выяснилось, что в атмосферах звезд некоторых типов (например, «вспыхивающих» переменных) происходит выделение заметных количеств энергии, причем этот процесс носит дискретный характер: энергия выделяется не постепенно, а сразу, взрывоподобно. Анализ этого явления, не получившего объяснения с общепринятой точки зрения о термоядерных реакциях внутри звезд, приводит к выводу: термоядерные реакции не для всех типов звезд являются главным и во всяком случае не являются единственным источником звездной энергии [8]\*. Наблюдаемые явления можно объяснить, предположив, что в недрах звезд сохраняются остатки «дозвездного» вещества; оно может тем или иным путем выноситься в поверхностные слои звезды или за ее пределы (вынос энергии совершается отдельными порциями), где и освобождается, вызывая вспышку звезды.

Наконец, третья, наиболее убедительная группа фактов, выявляющих «следы» плотного или сверхплотного начального состояния, относится к нестабильным группам и скоплениям галактик, а также к нестационарным явлениям в ядрах галактик, в которых мы наблюдаем разнообразные формы

---

\* См. статью «Явление непрерывной эмиссии и источники энергии звезд» (стр. 238 настоящего сборника).

активности\*. В частности, было установлено, что радиогалактики являются резко нестационарными объектами и могут испускать радиоизлучение лишь в течение коротких промежутков времени, незначительных по сравнению с возрастом галактик. Они не являются сталкивающимися системами, как одно время считали почти все астрофизики. Наоборот, здесь мы имеем дело с делением ядра галактики на части или с мощными взрывами в плотных ядрах [9]\*\*.

Радиогалактики представляют собой проявление лишь одной из форм активности ядер галактик. В ядрах некоторых галактик-сверхгигантов открыты и другие формы активности. Факты свидетельствуют в пользу того, что ядра активно участвуют в формировании собственных галактик.

Что же представляют собой ядра галактик? И каков механизм процессов огромной мощности, которые время от времени в них происходят?

Все описанные явления, связанные с активностью ядер галактик, были бы невозможны, если бы ядра состояли только из звезд и диффузной материи. Поэтому в 1955—1957 гг. в Бюраканской обсерватории была сформулирована точка зрения, согласно которой в ядрах галактик содержатся небольшие по размерам тела, на много порядков превосходящие по массе обычные звезды и по своей физической природе отличные от звезд и диффузной материи\*\*\*. Эти очень плотные, а возможно, даже сверхплотные тела представляют собой новую форму материи, возможно вовсе неизвестную современной физике. Они способны разделяться на части, удаляющиеся друг от друга с большими скоростями, а также выбрасывать массивные сгустки вещества. Для этого в них должны быть заключены в потенциальном состоянии громадные количества энергии. Взрыв ядра приводит к образованию новых галактик или—в других случаях—различных звездных подсистем в галактиках. Часть энергии, освободившейся от взрыва ядра, переходит в кинетическую энергию образовав-

---

\* О нестационарных явлениях в галактиках, вызываемых активностью их ядер см., например, статью «О ядрах галактик и их активности» (стр. 356 настоящего сборника).

\*\* См. статью «Об эволюции галактик» (стр. 289 настоящего сборника).

\*\*\* О ядрах галактик и их активности см. соответствующие статьи во втором разделе настоящего сборника.

шихся объектов. Конкретный физический механизм этих процессов предложить пока затруднительно.

Дальнейшее развитие этой концепции привело к выводу, что не только пары галактик, но и целые группы, а также скопления галактик могут возникнуть в результате взрывов в ядрах. В момент возникновения групп вначале появлялись лишь плотные «зародыши» галактик, которые образовались в результате одновременного или последовательного разделения массивного плотного тела. При разделении «зародыши» получали большие скорости. Удаляясь друг от друга, каждый из них формировал вокруг себя галактику, становясь ее ядром.

Наблюдения прямо указывают на такое свойство вещества ядра, находящегося в плотном или свехплотном состоянии, как способность нести в себе большие запасы энергии, сохраняя их до очередного взрыва. Можно ли это свойство ядра объяснить исходя из известных законов теоретической физики? Хотя мы пока не знаем, как именно это сделать, возможность построения модели ядра галактики с наблюдаемыми свойствами на основе известных нам законов теоретической физики нельзя считать полностью исключенной. Если же окажется, что этого сделать нельзя, будет неизбежен вывод, что законы теоретической физики в их настоящем виде здесь неприменимы. Такая возможность кажется не только очень вероятной, но и неудивительной, так как принятая сейчас форма основных законов физики, несомненно, не является окончательной. В условиях, существующих, например, в ядрах галактик или в центре квазизвездных радиоисточников, эти законы могут оказаться неприменимыми и должны будут подвергнуться дальнейшим уточнениям и обобщению, что лишь усилит их значение и расширит область их применимости.

В самом деле, законы физики представляют собой по существу обобщение определенной совокупности фактических данных, выраженных в возможно более простой и краткой форме. Однако нельзя думать, что система законов теоретической физики, полученная на каком-то определенном этапе развития науки, является абсолютно точной, законченной и не подлежащей дальнейшему обобщению. Эти законы лишь неполно, приближенно отражают объективную реальность, и не только могут, но и должны подвергаться уточнениям и

обобщению\*. (Уточнение и обобщение законов природы—это обычно единый процесс. Например, переход от классической механики к специальной теории относительности явился и уточнением классической механики, и обобщением ее на случай больших скоростей).

Такой взгляд покоится на анализе развития современного естествознания, которое открывает с течением времени все большее многообразие новых, ранее не известных явлений, принципиально отличных от всего, с чем оно имело дело прежде. Для объяснения фактических данных, характеризующих явления, в качественном отношении резко отличные от явлений, на основе изучения которых была сформулирована имеющаяся в данный момент система законов физики, мы уже не раз оказывались вынужденными обобщать физические законы и теории. Именно такая необходимость возникает и при изучении нестационарных процессов в ядрах галактик и квазизвездных объектах. Никогда в прошлом физика и астрономия не имели дела с концентрацией столь больших масс в относительно малых объемах. Речь идет о массах порядка  $10^{10}$  (а иногда даже более) солнечных масс, сосредоточенных в объемах во много раз меньших, чем объем какого-либо звездного скопления. Речь идет о превращениях вещества, при которых плотность меняется в миллиарды раз, а напряженность гравитационного поля может достигать неслыханных величин. Нет и не может быть никакой гарантии, что известные нам законы физики соблюдаются и в этих условиях. И совсем будет неудивительно, если окажется, что имеющиеся уже сейчас данные относительно нестационарных процессов во Вселенной, при теоретическом истолковании которых встречаются большие трудности, могут привести с течением времени к прямому противоречию с известными законами теоретической физики.

---

\* В своих исследованиях по эволюции звезд и галактик В. А. Амбарцумян последовательно проводит мысль о том, что бесконечное многообразие материального мира не может быть описано ограниченным количеством фундаментальных физических законов и теорий. Это принципиальное с философской точки зрения представление и определяет, по его мнению, особое значение астрофизики в развитии науки (см. примечание на стр. 73 настоящего сборника).



Попытка математического описания части подобных процессов сделана западногерманским физиком П. Иорданом [10]. Он считал, что его теория описывает процессы возникновения звезд. На самом деле она, вероятно, более применима к вопросу о происхождении галактик. (Это показывает, что работа Иордана носит довольно формальный характер и не все развиваемые в ней физические идеи являются ясными. Кроме того, нельзя согласиться с рядом философских положений, выдвинутых Иорданом при обсуждении этих вопросов).

Явления нестационарности во Вселенной обнаруживаются со все возрастающей резкостью при переходе от звездных ассоциаций к галактикам, их группам и скоплениям и, наконец, к Метагалактике с соответствующим выделением все больших количеств энергии. Иначе говоря, имеет место целая иерархия процессов взрыва, дезинтеграции, распада. Расширение Метагалактики также можно рассматривать как результат совместного образования в процессе взрывного характера большого числа скоплений галактик (точнее, «ядер» или «зародышей», фрагментация которых привела к возникновению скоплений галактик). С точки зрения наиболее распространенных в настоящее время представлений об образовании звезд и звездных систем из разреженного газа эти явления должны были казаться совершенно непонятными.

И в самом деле, факт существования нестационарных звездных группировок выглядел с «ортодоксальной» точки зрения настолько необычным, что неоднократно высказывались сомнения сначала в реальности звездных ассоциаций, затем в их неустойчивости. И лишь после того как эффект расширения по крайней мере некоторых звездных ассоциаций был полностью подтвержден, а идея о звездных ассоциациях как «очагах» звездообразования в Галактике получила всеобщее признание, появились попытки объяснить распад звездных ассоциаций на основе классических идей. Все они, однако, оказались неэффективными.

Резкую нестационарность многих групп и скоплений галактик также невозможно понять с точки зрения гипотезы об их образовании из разреженного газа: если бы скопления галактик формировались таким образом, они были бы устойчивыми. Неоднократные попытки спасти эту гипотезу путем

отрицания нестационарности групп и скоплений галактик не привели к успеху.

Еще большие трудности вызвала проблема космогонического истолкования радиогалактик и квазаров. Когда оказалось, что истолкование радиогалактик как сталкивающихся звездных систем является ошибочным, и были получены фактические данные, заставившие принять гипотезу о наличии в ядрах галактик тел незвездной природы, в которых иногда происходят взрывы, а также были открыты квазары, сторонники классических представлений стали объяснять взрывы в ядрах галактик не как результат освобождения энергии, заключенной в ядре (т. е. с точки зрения нового, неизвестного до сих пор свойства вещества), а на основе механизма гравитационного коллапса—катастрофического сжатия первоначально разреженного вещества под действием силы тяготения, при котором выделяется огромное количество гравитационной энергии.

На протяжении нескольких лет были рассмотрены буквально сотни различных теоретически мыслимых вариантов того, как именно выделяющаяся при коллапсе гравитационная энергия могла бы превращаться в мощнейшее оптическое и радиоизлучение квазаров. Удовлетворительного решения этой проблемы найдено, однако, не было. Каждое из выдвинутых объяснений сталкивалось с теми или иными теоретическими трудностями, и довольно быстро становилась ясной его несостоятельность. Основная идея этих гипотез—идея гравитационного коллапса—лишена каких-либо эмпирических подтверждений и оказывается недостаточной для объяснения фантастических количеств энергии, выделяющейся при взрывах квазаров. Чем раньше будет выброшена за борт эта надуманная и неплодотворная идея, тем быстрее смогут развиваться исследования реальных процессов, происходящих в квазарах и ядрах галактик.

Можно добавить, что все попытки объяснить переход от сверхплотной начальной фазы Метагалактики к разреженному газу и возникновение в нем флуктуаций плотности, которые могли привести к образованию галактик, звезд и т. д., оказались неплодотворными.

С точки зрения представлений, развиваемых в Бюраканской обсерватории, трудности раскрытия механизма перехода от сверхплотной начальной фазы Метагалактики к разрежен-

ному газу не должны вызывать удивления, так как сама постановка такой задачи является неправомерной. Гораздо более естественно считать, что эволюция Метагалактики представляла собой процесс последовательной фрагментации плотного или сверхплотного вещества, сопровождавшийся образованием (и последующим рассеянием) диффузного вещества. Теорию начальных стадий этого процесса в настоящее время дать затруднительно по тем же причинам, по которым пока еще нельзя разработать теорию звездообразования или последовательную теорию космогонической активности ядер галактик. Дело здесь не только в недостатке фактических данных, но также и в том, что адекватное описание состояния вещества при очень больших плотностях и механизма превращения этого вещества в наблюдаемые космические объекты может потребовать обобщения современных физических теорий на случай, при котором одинаково существенны квантовые, релятивистские и гравитационные явления.

Итак, в отличие от астрономии XVIII—XIX вв., в которой идеи единства мира и его развития часто применялись, во-первых, неосознанно и, во-вторых, в отрыве друг от друга, в современной астрономии эти идеи, применяемые вместе, стали важнейшими методологическими принципами исследования. Тем самым высказанная В. И. Лениным мысль о том, что «всеобщий принцип развития надо соединить, связать, совместить с всеобщим принципом *единства мира*, природы, движения, материи etc.» [11], оказалась необычайно плодотворной. Она лежит в основе любого из современных подходов к изучению Вселенной.

## РЕВОЛЮЦИЯ В СОВРЕМЕННОЙ АСТРОНОМИИ

Происходящий сейчас переход от одного уровня знаний о Вселенной к другому, более глубокому, сопровождаемый коренной ломкой многих привычных представлений и заменой их неожиданными, непривычными, а также мучительными и противоречивыми поисками нового теоретического языка, более адекватного объективной реальности, может с полным правом рассматриваться как революция в астрономии.

Исходным пунктом современной революции в астрономии явился глубокий кризис прежних представлений: их глубокие внутренние противоречия и противоречия с эмпирическими данными. Новые взгляды были сначала выдвинуты на основе очень ограниченного количества фактов о нестационарных процессах во Вселенной, часть которых была известна и раньше, но которые получили радикальное истолкование.

Эти представления являются еще схематичными и упрощенными. Они позволяют объяснить, и то лишь качественно, небольшую часть удивительных явлений, открытых современной астрономией. Так бывает всегда на том этапе, когда новые представления еще не сформировались в последовательную теорию, а стремительный поток новых фактов и наблюдений уже не позволяет вернуться к старым теориям.

Новые представления в астрономии формируются частично на языке прежних понятий и представлений, избавиться от которых можно будет далеко не сразу, причем новые концепции в астрофизике, космогонии и космологии только в будущем получат более полное обоснование.

Как свидетельствует развитие современной астрономии, было бы несправедливым рассматривать ее лишь как одну из «прикладных» областей применения физических теорий, не обещающую физике ничего принципиально нового. Напротив, сейчас в не меньшей степени, чем в эпоху Возрождения и нового времени, астрономия преподносит нам бесчисленные сюрпризы, все более «дикивинные» не только с точки зрения обыденного здравого смысла, но и с точки зрения уже ко всему, казалось бы, привыкших и разучившихся удивляться теоретиков современной физической науки. «Кунсткамера» физического знания почти ежегодно пополняется все более удивительными объектами, задающими теоретикам все более трудные (и запутанные) загадки.

Уже известные факты позволяют считать, что основные проблемы современной астрономии могут оказаться фундаментальными и решение их будет так или иначе связано с коренным пересмотром ряда важных представлений современной физики. «Сюрпризы» современной астрономии могут явиться источником новых глубочайших идей и даже источником новой революции во всей системе физического знания.

Итак, вопреки довольно распространенному мнению, что во всем комплексе физических наук сейчас есть только одна экстремальная область исследования, откуда реально можно ожидать революционного изменения наших основных физических представлений (физика элементарных частиц), с течением времени становится все очевиднее, что таких областей две: физика элементарных частиц и астрофизика, которая может дать для теоретической физики не меньше, чем изучение микромира.

Нет сомнения, что дальнейшее развитие революции в современной астрономии приведет к множеству открытий, еще более необычных и поразительных, чем все сделанные до сих пор. «Ум человеческий открыл много диковинного в природе и откроет еще больше, увеличивая тем свою власть над ней...» [12].

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. И. Ленин, Полн. собр. соч., т. 18, стр. 276.
2. А. А. Фридман, О кривизне пространства; О возможности мира с постоянной отрицательной кривизной пространства; Мир как пространство и время, Избранные труды, М., 1966.
3. G. Lemaitre, L'Hypothèse de l'atome primitif, Neuchâtel, 1946.
4. F. Hoyle, Frontiers of Astronomy, Melbourne, 1956; его же, Galaxies, Nuclei and Quasars, New York, 1965; Я. Оорт, Строение и эволюция галактической системы, Земля и Вселенная, 1965, № 2, 3; М. Шварцшильд. Строение и эволюция звезд, М., 1961.
5. В. И. Ленин, Полн. собр. соч., т. 29, стр. 317.
6. В. А. Амбарцумян, Космогония и современная астрофизика, Научные труды, т. 2, Ереван, 1960.
7. В. А. Амбарцумян, Эволюция звезд и астрофизика, Научные труды, т. 2.
8. В. А. Амбарцумян, Явление непрерывной эмиссии и источники звездной энергии, Научные труды, т. 2.
9. В. А. Амбарцумян, Об эволюции галактик, Научные труды, т. 2.
10. P. Jordan, Schwerkraft and Weltall, Braunschweig, 1955.
11. В. И. Ленин, Полн. собр. соч., т. 29, стр. 229.
12. В. И. Ленин, Полн. собр. соч., т. 18, стр. 298.

## ПРОБЛЕМЫ МЕТОДОЛОГИИ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОГО ПОИСКА\*

Современное естествознание развивается невиданными темпами, расширяя и углубляя наши знания о природе, увеличивая власть человека над ней. Природа непрерывно поражает исследователей все более необычными, неожиданными явлениями. Она оказывается неизмеримо глубже и многообразнее сложившихся в каждый данный момент естественнонаучных представлений, настойчиво вынуждая нас все время уточнять систему знания, заменять прежние теории новыми, более адекватными объективной реальности.

Прогресс естествознания поставил ряд фундаментальных методологических вопросов, вокруг которых идет острая борьба философских направлений. Эти вопросы были проанализированы В. И. Лениным в работах «Материализм и эмпириокритицизм», «Философские тетради», «О значении воинствующего материализма» и других. В. И. Ленин вскрыл несостоятельность идеалистических и метафизических толкований естествознания начала XX в., убедительно показав, что единственной философией, адекватной современному состоянию наук о природе, является материалистическая диалектика. Дальнейшее развитие естествознания блестяще подтвердило этот ленинский вывод.

### I

Одна из важнейших особенностей современной эпохи — неуклонное возрастание роли и значения естественных наук в жизни общества.

---

\* Соавтор — В. В. Казютинский. Доклад на Втором Всесоюзном совещании по философским вопросам естествознания (Москва, декабрь, 1970 г.), посвященном 100-летию со дня рождения В. И. Ленина. Печатается по тексту журнала «Вопросы философии», 1971, № 2, стр. 43—54.

Сближаются между собой фундаментальные и прикладные науки. Происходит индустриализация научного эксперимента. Усиливается связь естествознания с техникой, оно стало непосредственной производительной силой, оказывая влияние на все стороны социального развития. Изменились и формы организации естественнонаучных исследований. Эти исследования являются теперь делом больших коллективов, своего рода «фабрик» по получению знания о природе.

Развитие естественных наук приводит к быстрому возрастанию объема и резкому усложнению знания. В связи с этим естествознание существенно усложняется по своей структуре. (Следует, конечно, оговориться, что между структурой естественнонаучных теорий и их систем, с одной стороны, и структурой соответствующих им объектов природы нет простой и однозначной связи).

В современном естествознании происходит грандиозная революция, которая началась в физике на рубеже XIX—XX вв., охватив затем и другие науки о природе, прежде всего астрономию и биологию. Именно в этих областях естествознания возникали и возникают наиболее острые «проблемные ситуации», вызванные временными кризисами в наших представлениях о природе. Подобные ситуации, вызывая потребность в создании принципиально новых понятий и теорий, в углублении и уточнении естественнонаучной картины мира, давали наиболее мощные импульсы прогрессу естественных наук.

Революция, которая произошла в физике первой половины XX в., завершилась созданием специальной и общей теории относительности и квантовой механики. Новые теории казались сначала настолько необычными, что их утверждение в науке было образно названо «неизбежностью странного мира».

В дальнейшем фундаментальные теории современной физики и основанные на них методы исследования получили многообразные конкретные приложения в самых разнообразных областях естествознания (химии, биологии и др.) и техники. Это привело к быстрому прогрессу всего комплекса наук о природе, созданию ряда принципиально новых представлений, что с полным правом рассматривается как продолжение революции в современном естествознании.

Тот факт, что выдающиеся успехи наук о природе за

последние три десятилетия были достигнуты на основе применения уже известных, а не создания новых фундаментальных теорий, породил у части естествоиспытателей ощущение своеобразной самоуспокоенности. Довольно широкое распространение получила точка зрения, согласно которой все (или почти все) фундаментальные законы природы уже открыты и нам остается лишь применять их при изучении различных явлений.

Однако исследование природы приводит к новым и все более неожиданным результатам, открывая неисчерпаемое многообразие новых и «диких» явлений. В настоящее время областями самых удивительных открытий в естествознании, которые требуют (или могут потребовать) наиболее глубокого и далеко идущего пересмотра наших представлений о природе, являются физика элементарных частиц и в еще большей мере астрономия. В самое последнее время во Вселенной открыты объекты неизвестного ранее типа—активные ядра галактик, квазары и др. Попытки описать их в рамках известных нам фундаментальных физических теорий встречаются с огромными, возможно непреодолимыми, трудностями. Это означает, что естествознание идет к признанию «неизбежности все более странного мира».

Глубокие изменения происходят в путях и способах движения к новому знанию.

Во-первых, значительно усложнилась взаимосвязь опыта (эксперимента, наблюдения) и теории. Путь от опыта к построению теории в ряде случаев характеризуется большим числом промежуточных, опосредующих этапов и звеньев. Возросла неоднозначность в истолковании одних и тех же эмпирических данных, объяснить которые часто оказывается возможным исходя из самых различных (в том числе взаимоисключающих) представлений. Вместе с тем построение новых естественнонаучных теорий требует, помимо эмпирических данных, привлечения многообразных и нередко все более сложных теоретических представлений, взятых из существующей системы знания.

Во-вторых, что не менее важно,—парадоксальные, кризисные «проблемные ситуации», возникавшие в различных естественных науках, исключали возможность сколько-нибудь шаблонного подхода к их решению на основе простого применения существующих методов и принципов. А все боль-



шая «диковинность» выводов, получаемых в результате разрешения подобных ситуаций, часто вызывала сомнения в обоснованности и правомерности таких выводов.

Указанные тенденции развития современного естествознания и привели к постановке в нем множества вопросов, которые требовали философского анализа, являясь «пограничными» между естествознанием и философией. Каждый крупный принципиальный шаг в развитии таких наук, как физика, астрофизика, биология, был связан с решением этих вопросов. Чем острее была соответствующая «проблемная ситуация», чем решительнее новые естественнонаучные теории порывали с общепринятыми представлениями, уточняя и обобщая их, тем в большей мере требовали философского анализа возникающие здесь проблемы.

## II

Среди философских проблем современного естествознания видное место занимают проблемы методологии и логики научного поиска (особенно в нетрадиционных ситуациях, при решении принципиально новых задач).

Представляет значительный интерес анализ взаимосвязи эмпирических и теоретических факторов в построении теорий, описывающих закономерности различных областей природы.

Различные идеалистические направления современной философии подходят к решению этих проблем односторонне: выпячивая роль одних факторов, они игнорируют или недооценивают роль других.

Позитивисты подчеркивали резко возросшую роль эмпирических данных в изучении природы. Опыт привел к отказу от ряда казавшихся «незыблемыми» представлений классического естествознания, таких, как неделимые атомы, абсолютное пространство и абсолютное время, универсальный характер лапласовского детерминизма и др. Это доказывало, что основные естественнонаучные понятия отнюдь не являются априорными. Но позитивисты не ограничились констатацией крушения априоризма. Они пошли значительно дальше, всячески принижая роль наличной системы знания (в частности философских идей и принципов) в синтезе нового знания о природе [1]. С другой стороны, нашлись и активные защитники представления об априорном происхождении фунда-

ментальных понятий и теорий современного естествознания. Например, А. Эддингтон писал, что, хотя мысль о возможности априорного знания в науках о природе «всегда предавалась анафеме», подлинная наука начинается все же тогда, когда разум предписывает законы природы, а не заимствует их у нее. По словам Эддингтона, «все законы, которые обычно считаются фундаментальными, могут быть выведены всецело из эпистемологических соображений» [2]. С точки зрения Эддингтона, опыт—всегда безнадежный «должник» теории, а физика можно сравнить с Прокрустом, «чьи анатомические исследования роста путешественников выявляют лишь длину постели, в которую он их укладывал» [3].

С точки зрения материалистической диалектики дилемма «априоризм или эмпиризм?» является ложной. Исследование природы немислимо как без обращения к опытным данным, так и вне наличной системы знания, которая выступает для исследователя в качестве относительно «априорной»; представляя собой аккумуляцию предшествующего опыта, она принимает участие в исследовании в известной степени уже независимо от него.

Эмпирические данные, вне всякого сомнения, играют исключительно важную роль в создании естественнонаучных теорий, в том числе и фундаментальных теорий современной физики. Достаточно красноречивый пример—квантовая механика. Потребовалась многолетняя упорная и чрезвычайно трудоемкая работа по исследованию атомных спектров и явлений атомного масштаба, потребовалось, далее, чтобы при сопоставлении с фактами потерпели крушение все попытки понять эти явления на основе полуклассических представлений (в том числе и боровская модель атома). И лишь затем были, наконец, сформулированы математический формализм и основные физические принципы квантовой теории.

Утверждение о том, что современные естественнонаучные теории не фабрикуются всецело на основе каких-либо априорных принципов, с полной очевидностью вытекает из следующего общеизвестного факта: подавляющее большинство наиболее значительных открытий в изучении природы оказалось совершенно неожиданным. Эти открытия не только не были предсказаны исходя из существующей системы знания, но в ряде случаев не могли получить адекватного

теоретического истолкования долгое время спустя после того, как они были сделаны.

Но признание огромной роли эмпирических данных в построении теорий современного естествознания, конечно, не дает оснований (как это получается у позитивистов) умалять или недооценивать ту роль, которую играет в синтезе новых естественнонаучных представлений существующая система знаний.

И создание теории относительности, и создание квантовой механики, которые, как считают позитивисты, построены методом «чистого эмпиризма», на самом деле было бы невымыслимо без содержательного анализа ряда фундаментальных физических понятий. Именно в ходе такого анализа были выработаны соответствующие современной физике неклассические понятия пространства, времени, причинности, а также многие другие.

В известном смысле оказывается оправданным эддингтоновское сравнение естествоиспытателя с Прокрустом. Любая наука о природе изучает свой объект субъективно—с точки зрения человеческой практики, ее задач, интересов и т. д. Естествоиспытатель непосредственно имеет дело с фрагментами, сторонами, аспектами природы, включенными в сферу практики. Закономерности их не лежат на поверхности наблюдаемых явлений. Пытаясь понять эти явления, исследователь набрасывает на них ту теоретическую «сеть», которая имеется в данный момент в его распоряжении. Таким образом, делается попытка как бы уложить изучаемые аспекты природы в прокрустово ложе теоретических возможностей исследователя.

Однако это лишь одна сторона дела. Нельзя забывать, что природа, со своей стороны, не только «подсказывает», но и самым настойчивым образом «навязывает» нам не только способы описания реальности, но и закономерности эмпирического и теоретического уровней знания, в том числе фундаментальные законы физики. И если выяснится, что для описания по крайней мере некоторых из недавно открытых во Вселенной явлений необходимо обобщение известных сейчас фундаментальных физических теорий, будет получен еще один лишний довод против взглядов Эддингтона об «априорности» этих теорий.

Таким образом, уловив реальную черту современного

изучения природы—возрастание активности исследователя, Эддингтон не смог правильно понять ее смысл, что и привело его к ряду выводов, отмеченных печатью крайнего субъективизма.

Большое внимание рассматриваемой проблеме, как известно, уделял А. Эйнштейн. Придавая большое значение роли фактов в построении физической теории, Эйнштейн считал, однако, что факты сами по себе, как бы много их ни было, не могут привести нас к таким теориям, как, например, общая теория относительности. «На опыте можно проверить теорию, но нет пути от опыта к построению теории» [4]. Эту мысль Эйнштейн повторял настойчиво и неоднократно. «Высшим долгом физиков,—писал он,—является поиск тех общих элементарных законов, из которых путем чистой дедукции можно получить картину мира. К этим законам ведет не логический путь, а только основанная на проникновении в суть опыта интуиция...» [5]. В этом смысле фундаментальные понятия и законы физики «суть свободные творения человеческого разума» [6].

Эйнштейн совершенно прав, когда он подчеркивает, что фундаментальные теории современной физики (речь идет именно о них) не были выведены из эмпирических данных чисто индуктивным путем; путь их построения был, разумеется, значительно более сложным. Интуиции в подобных случаях всегда принадлежит важнейшая роль. Но если от опыта к теории нет формально строгого однозначного пути, то это тем не менее вовсе не означает, что путь от опыта к теории вообще ничем не детерминирован. Помимо интуиции, процесс построения естественнонаучной теории достаточно жестко зависит и от факторов, роль которых вполне поддается методологическому анализу. Это: 1) эмпирические данные; 2) теории, общие теоретические идеи и принципы соответствующей науки; 3) естественнонаучная картина мира; 4) соображения математического характера; 5) категории, принципы и идеи философии. Нет никакого алгоритма, который позволил бы с полной однозначностью построить ту или иную теорию, исходя из указанных факторов, но все же они настолько ограничивают «произвол» исследователя, что в сколько-нибудь буквальном смысле считать теорию «свободным творением человеческого разума» нельзя.

Таким образом, точка зрения Эйнштейна на пути по-

строения физической теории, несмотря на содержащиеся в ней рациональные моменты, страдает некоторой односторонностью, не говоря уже о неудачности основных ее формулировок.

Основой для подлинно всестороннего и глубокого анализа вопроса об общих методах построения естественнонаучной теории является материалистическая диалектика.

Познание природы (как и всякое познание вообще) с точки зрения материалистической диалектики представляет собой творческую деятельность субъекта, которая направлена на отражение реальности по ее собственным законам.

Материалистическая диалектика исходит из того, что в синтезе нового знания принимают участие как эмпирические данные, так и различные слои теоретического уровня знания. Роль этих факторов оказывается, конечно, различной в разных науках о природе, на разных этапах их развития, на разных стадиях исследования; их учет в каждом конкретном случае осуществляется исследователем, исходя из существа решаемой им задачи. В одних случаях на первый план выдвигаются эмпирические данные, в других—главную роль начинают играть философские соображения (разумеется, в тесной взаимосвязи с другими факторами). Но подчеркивание важности всех этих факторов предохраняет исследователя от односторонности.

В рамках материалистической диалектики существуют различные подходы к анализу некоторых конкретных аспектов рассматриваемой проблемы. Они касаются в основном вопроса о том, какую роль играют в синтезе нового знания эмпирические данные и различные слои теоретического уровня знания и как они соотносятся друг с другом, а также вопроса о логике построения естественнонаучной теории.

Иногда высказывается мнение, что относительная роль эмпирических данных в синтезе нового знания все же уменьшилась, а роль наличной системы знания—возросла.

Оно обосновывается ссылкой на то, что если в прошлом опыт, как правило, предшествовал новым теоретическим построениям, то сейчас положение изменилось. В современном естествознании (речь идет в подобных случаях главным образом о физических науках) теория достигла такой степени зрелости, что опыт выступает часто лишь как звено в проверке теоретических построений, которые выдвигаются,

исходя из логики развития самой теории. Но достаточно часто высказывается и прямо противоположное мнение, что уменьшения роли опыта в построении теории не только не произошло, но даже следует говорить о значительном ее возрастании.

Утверждения, что выдвигается все меньше гипотез, которые можно было бы рассматривать как непосредственное обобщение данных опыта, являются недостаточно обоснованными. Во-первых, никаких подсчетов по этому поводу никогда и никто не производил. Во-вторых, и в классическом естествознании нередко выдвигались теоретические представления и модели, разработанные, например, на основе принципов механики и затем сопоставлявшиеся с опытными данными.

Мы уже упоминали о том, какое огромное значение при построении квантовой механики имели факты. Обратимся теперь к другой области современного естествознания—астрофизике.

Астрофизика обладает рядом специфических черт, отличающих ее не только от других наук о природе, но и от других разделов физических наук. Эмпирическую основу астрофизики составляют факты, полученные в результате наблюдений, а не эксперимента. Столкнувшись с новым явлением, сущность которого ему еще непонятна, физик обычно повторяет свой опыт для того, чтобы установить зависимость явлений от условий, в которых поставлен эксперимент. Он имеет возможность не только всесторонне изучить эти условия, но также изменять их. В астрофизике же дело обстоит иначе. Пронаблюдав один раз необычное явление, мы не в силах ни управлять внешними условиями, в которых оно произошло, ни повторить его по нашему желанию. Мы иногда даже не имеем представления о соответствующих условиях и внешних обстоятельствах, в которых замеченное нами новое явление произошло. В связи с этим астрофизические исследования в большинстве случаев распадаются на три стадии: 1) наблюдение; 2) интерпретация явления—выяснение того, что именно происходит в наблюдаемом объекте; 3) построение полной теории явления, включающей объяснение его причин. Чтобы быть конкретнее, приведем несколько примеров.

Уже в прошлом столетии астрономы проявили интерес к

вспышкам так называемых «Новых звезд». Было выяснено, что вспышка связана с возрастанием яркости какой-то уже существовавшей до этого слабой звезды. Была высказана с современной точки зрения совершенно наивная гипотеза, согласно которой вспышка Новой звезды вызвана столкновением двух звезд. Дальнейшее накопление наблюдательных данных, происходившее по мере наблюдений вспышек Новых звезд в первой половине XX столетия, заставило, однако, решительно отвергнуть эту гипотезу. Оказалось, что на самом деле в звезде происходит быстрое, почти мгновенное выделение энергии—взрыв. В результате вещество внешних слоев звезды выбрасывается в окружающее пространство. Вокруг звезды возникает газовая оболочка; расширяясь, она образует туманность, которая продолжает расширяться и рассеиваться.

Таким образом, многолетние исследования позволили понять, что происходит во время вспышки. Но у нас до сих пор еще нет теории, которая объясняла бы причину взрыва. Попытки создания такой теории путем «перескакивания» через второй этап исследования потерпели неудачу.

Методологический просчет, сделанный в свое время в связи с изучением Новых звезд, самым любопытным образом повторился во второй половине XX века, когда были обнаружены радиогалактики.

В 1952 году американские астрофизики В. Бааде и Р. Минковский показали, что некоторые точечные источники космического радиоизлучения являются галактиками. Бааде и Минковский попытались дать объяснение открытому ими явлению, выдвинув гипотезу о том, что любая радиогалактика есть результат столкновения двух галактик, каждая из которых содержала до столкновения большие массы газа. Почти сразу же после того, как эта гипотеза была выдвинута, она подверглась подробному анализу в Бюраканской обсерватории. Было показано, что вероятность требуемых почти центральных столкновений чрезвычайно мала, чтобы объяснить наблюдаемое число радиогалактик. Кроме того, радиогалактики имеют одну существенную общую черту—они являются почти во всех случаях сверхгигантами, и причину появления интенсивного радиоизлучения следовало поэтому искать в явлениях их внутренней жизни, а не связывать его с такими внешними факторами, как столкновения.

В настоящее время можно считать доказанным, что превращение обычной галактики в радиогалактику—ее радиовспышка—происходит в результате выброса из ядра галактики огромных облаков релятивистских электронов. Двигаясь в магнитном поле, они дают интенсивное радиоизлучение. Выброс облака происходит за сравнительно короткое время, поэтому все явление представляет собой колоссальный взрыв, при котором выделяется энергия порядка  $10^{60}$ — $10^{62}$  эрг. Это самые большие взрывы, наблюдаемые в природе. Таким образом, возникло современное представление об активности ядер галактик—представление, которое уже сейчас приводит к очень далеко идущим следствиям\*.

Еще один пример. До последнего времени существовали самые разнообразные, противоречивые и нередко взаимоисключающие гипотезы о структуре поверхности Луны и происхождении наблюдаемых особенностей лунного рельефа. Все они опирались на косвенные данные, оставаясь долгое время недостаточно обоснованными. Лишь после того, как на поверхности Луны оказались автоматические станции и космонавты, стала возможной непосредственная проверка наших взглядов на природу Луны. Несомненно, фактические данные, полученные в результате прямого изучения нашего спутника, приведут к выдвигению новых, гораздо более близких к реальности представлений о Луне, что прольет свет также на многие загадки солнечной системы.

Приведенные примеры, конечно, вовсе не исключают того, что в астрофизических исследованиях возрастает также роль физико-теоретических и математических предпосылок. Если имеются достаточно разработанные теории (например, теория звездных атмосфер), они служат надежным инструментом анализа и обобщения фактов. Но эти примеры все же показывают, что ни о каком уменьшении роли эмпирических данных в современном естествознании не может быть и речи.

Оживленные дискуссии вызывает сейчас вопрос, в чем именно состоит роль материалистической диалектики в научном поиске, в синтезе нового знания. Заключается ли она в том, что философия сейчас, как и раньше, является для естествознания источником новых идей или она утрати-

\* См. примечание на стр. 49 настоящего сборника.



ла эту роль вместе с крушением натурфилософии? Влияет ли философия на изучение природы лишь на уровне картины мира и общего способа мышления, свойственного данной ступени развития естествознания, или также более непосредственно, помогая разобраться даже в ситуациях, возникающих на эмпирическом уровне исследования?

Нередко считают, что теоретическое естествознание достигло такой степени зрелости, когда основные естественнонаучные идеи оно способно формулировать, не прибегая к помощи философии. Противоположную точку зрения относят к рецидивам «натурфилософии».

Конечно, попытки умозрительного конструирования естественнонаучных теорий путем дедуцирования их из «чисто философских» соображений давно и безвозвратно отброшены современной наукой. Но философские идеи атомизма, причинности развития и многие другие отнюдь не утратили своего методологического значения и сейчас. Они активно участвуют в синтезе новых естественнонаучных представлений—разумеется, в теснейшей взаимосвязи с эмпирическими данными и теоретическими представлениями, сложившимися в соответствующей области естествознания. И притом эвристическая роль философских категорий, принципов и идей проявляется на *всех* уровнях естественнонаучного исследования.

За последние годы всесторонне раскрыта эвристическая роль материалистической диалектики в синтезе современной научной картины мира.

Роль философии была весьма существенной также в построении и развитии фундаментальных теорий современной физики. Подобно тому, как физико-теоретические соображения позволяют выбрать определенный тип уравнений, которые применяются при построении математического аппарата теории, так и философские соображения содействуют формулировке принципов, которые затем используются при разработке физической интерпретации теории.

Но философия часто «работает» и при создании теорий, описывающих закономерности сложных явлений на основе знания фундаментальных законов природы, а во многих случаях—даже на эмпирическом уровне исследования.

Именно диалектическая концепция развития в сочетании с тщательным анализом фактического материала позволила

сформулировать идею о нестационарных объектах во Вселенной как закономерных фазах космической эволюции. Как известно, В. И. Ленин, характеризуя диалектико-материалистическую концепцию развития, особое внимание обращал на вопрос об источнике развития. Он подчеркивал, что все явления в мире выступают как единство (тождество) противоположностей. Это означает «признание» (открытие) противоречивых, *взаимоисключающих* противоположных тенденций *во всех* явлениях и процессах природы...» [7]. Каждая из сторон единого целого способна превращаться в свою противоположность, противоположности переходят друг в друга; взаимодействие, «борьба» противоположностей и является источником развития.

Анализируя проблему нестационарных объектов во Вселенной с позиций диалектической концепции развития, трудно было не прийти к выводу, что традиционное истолкование этих объектов как каких-то выродков, как отклонения от нормального пути космической эволюции является ошибочным. В противовес этому общепринятому долгое время взгляду была обоснована точка зрения, согласно которой нестационарные объекты представляют собой *поворотные пункты* в развитии космических тел и систем. Количественные изменения вызывают здесь изменения качественные—переход космического объекта из одного состояния в другое или возникновение новых объектов\*.

Приведенный пример не должен рассматриваться как нечто исключительное. Даже в астрономии—не говоря уже об огромном числе других областей естествознания—могут быть без труда указаны совершенно аналогичные случаи, когда материалистическая диалектика определяла методологию и логику научного поиска при решении довольно конкретных проблем, имеющих принципиальное значение.

Применяется ли в процессе синтеза нового естественнонаучного знания вся система философских категорий или же особенно важную роль имеют лишь некоторые из них?

Если рассмотреть процесс синтеза любой фундаментальной научной теории, то можно заметить, что фактически на первый план здесь всегда выдвигалась группа категорий, соответствующих тем естественнонаучным понятиям, кото-

---

\* См. примечание на стр. 96 настоящего сборника.

рые являются основными в данной теории. Например, А. Эйнштейн при разработке специальной теории относительности использовал в первую очередь категории материи, пространства, времени, движения. При создании квантовой механики решающее значение имело применение уже иных философских категорий: причинности, необходимости, случайности, возможности, действительности. В космогонии особенно важны категория развития и другие непосредственно связанные с ней категории.

Следует заметить, что в процессе синтеза нового знания философские представления во многих случаях используются не в своей общефилософской форме, в которой они отвлечены от конкретного содержания, а модифицируются соответственно особенностям изучаемых объектов. Например, в астрофизике принципы единства мира и развития, лежащие в конечном счете в основе различных подходов к изучению Вселенной, применяются в двух различных формах. Одной из конкретизаций этих принципов является представление о том, что все объекты и процессы, изучаемые астрономией, могут быть описаны, исходя из ограниченного числа фундаментальных физических теорий. Сторонники подобных взглядов полагают, что явления, например, в мире галактик, не представляют собой ничего качественно нового по сравнению с явлениями в системах меньшего масштаба: они описываются теми же физическими законами.

Согласно другому пониманию единства и развития материи, каждому уровню материального мира соответствуют свои собственные структурные и эволюционные закономерности. Фундаментальные физические теории—как уже известные, так и те, что физике еще предстоит создать,—могут в принципе иметь лишь ограниченную область применимости. Единство мира связано с его бесконечным многообразием как в отношении уровня явлений, так и в отношении уровня законов.

Указанные различия в конкретизации диалектико-материалистических принципов единства и развития материи привели к различиям в логике исследования—отбору различных фактов, которые считаются существенными для построения теории, разным путям их анализа и обобщения, что и обусловило в результате появление различных взглядов на многие проблемы структуры и эволюции Вселенной.

Итак, для естествознания в целом имеет место резкое усиление как роли опытных данных, так и теоретических соображений, включая специальные теории, относящиеся к предмету данной науки; но это вполне естественно, если учесть значительное возрастание сложности объектов и процессов, с которыми имеют дело современные науки о природе.

За последние годы наметилась тенденция пересмотреть положение о том, что теория представляет собой в конечном счете обобщение эмпирических данных.

Подчеркивая, что процесс построения теории не носит чисто индуктивного характера, а является значительно более сложным, некоторые авторы называют взгляд, согласно которому теория возникает в результате обобщения эмпирических данных, «устаревшим». Согласно другой точке зрения, хотя процесс построения теории чрезвычайно сложен, он тем не менее должен рассматриваться именно как *обобщение* эмпирических данных. Только само понятие обобщения не следует понимать слишком прямолинейно, сводя его к одной только индукции. Правильной представляется последняя точка зрения.

Конечно, в подавляющем большинстве случаев логика построения теории не сводится лишь к движению в направлении: опыт—теория. Она обязательно включает сопоставление и всесторонний анализ эмпирических данных, построение и разбор различных гипотетических вариантов объяснения эмпирических данных и сравнение их с опытом, а также между собой. Это возможно лишь путем использования не только индуктивных, но и дедуктивных приемов рассуждения, которые могут причудливо переплетаться между собой. Опыт дает толчок к построению теории, но возникает она в рамках теоретического уровня знания. В тех случаях, когда существует особая теория, достаточная для объяснения эмпирических данных, такое объяснение строится из элементов уже имеющихся теоретических представлений. Если же анализ показывает, что существующие представления недостаточны и вступают в конфликт с фактами, в рамках теоретического уровня знания разрабатываются новые, а если нужно, и принципиально новые представления. Появление как тех, так и других стимулировано эмпирическими данными, и разрабатываются они таким образом, чтобы дать

истолкование и объяснение этим данным, включить их в систему знания. Вот почему утверждение, что теории и теоретические представления в конечном счете являются обобщением фактических данных, полностью отражает суть дела. Следует только помнить, что формы обобщения могут быть очень разнообразными.

Новое теоретическое представление может возникать как более или менее прямое объяснение эмпирических данных. Так, например, были созданы современные представления о происхождении звезд и звездных систем. Наблюдения привели к выводу, что звезды возникают совместно, группами. Эти группы сначала являются сравнительно компактными, но многие из них неустойчивы и постепенно рассеиваются. Естественно, прежде всего необходимо было проверить, насколько эти факты объясняются классическими представлениями об образовании звезд из разреженного диффузного вещества. Оказалось, что даже при самых больших натяжках классические представления сталкиваются с непреодолимыми трудностями. Система звезд, возникших в результате конденсации разреженного газа, была бы относительно устойчивой, что противоречит результатам наблюдений. Это подсказало необходимость принципиально новых объяснений. Была сформулирована альтернативная гипотеза, согласно которой звездные группировки возникают в результате взрывной фрагментации плотных или сверхплотных протозвезд\*. Сравнение этих гипотез с фактами и между собой

---

\* Открытие звездных ассоциаций и установление их динамической неустойчивости послужили основой для развития В. А. Амбарцумяном гипотезы о возникновении звезд и звездных систем в результате распада плотных массивных тел—протозвезд. Попытки объяснения возникновения расширяющихся, распадающихся звездных систем с помощью классической гипотезы о конденсации диффузной материи оказались безуспешными. Гипотеза протозвезд получила веские подтверждения в исследованиях нестационарных явлений в звездах и галактиках, в частности в явлениях, связанных с активностью ядер галактик. Все эти явления указывают на процессы распада, рассеяния и дезинтеграции материи во Вселенной. Это, по мнению В. А. Амбарцумяна, свидетельствует о том, что развитие космической материи в доступной для наших наблюдений части Вселенной сопровождается ее переходами от более плотных состояний к менее плотным. Эта новая концепция противопоставляется классической концеп-

показало, что есть эмпирические данные, необъяснимые с точки зрения первой гипотезы, но вполне естественные с точки зрения второй. Тем самым были получены дальнейшие аргументы, которые заставляют отказаться от классических представлений, хотя подробно разработанной и всесторонне обоснованной теории, исходящей из «неортодоксальных» идей, пока еще нет [8].

Если теория, охватывающая закономерности какой-либо области явлений природы, уже создана, новые теоретические представления могут разрабатываться на основе внутренней логики развития теории. Большое число подобных представлений было, например, сформулировано в качестве следствий квантовой механики. Все они затем получили экспериментальное подтверждение. Но значит ли это, что теперь, помимо построения теории на основе обобщения эмпирических данных, возник и другой, противоположный путь, вполне равноправный первому? Для ответа на этот вопрос достаточно вспомнить, что и квантовая механика возникла в свое время как обобщение опытных данных. Поскольку теория представляет собой нечто большее, чем просто сокращенную запись фактов, нет ничего удивительного в том, что она способна выходить за пределы того круга явлений, обобщение которых послужило поводом для ее создания. Однако возможность относительно самостоятельного развития теории выступает лишь как звено в процессе развития теоретического уровня знания, который—при всех своих зигзагах—сейчас, как и раньше, представляет собой процесс обобщения эмпирических данных.

### III

Проблемы методологии естественнонаучного поиска неотделимы от вопросов:

1) ведет ли развитие естественнонаучного знания ко все более адекватному отражению объективной реальности?

2) можно ли из анализа логики развития современного естествознания сделать вывод, что мы находимся на пути к

---

ции, согласно которой развитие во Вселенной идет в противоположном направлении. Подробнее см. в статьях второго раздела настоящего сборника и в книге: «Проблемы современной космогонии» под редакцией В. А. Амбарцумяна, «Наука», М., 1972 (2-е издание).

созданию всеобъемлющей и в общих чертах завершенной картины мира?

Позитивисты отрицают тенденцию ко все большей объективности естественнонаучного знания. Они считают, что любая теория—это лишь краткая «стенограмма» эмпирических данных. Сегодня нам известна одна совокупность эмпирических данных—мы строим исходя из них некоторую теорию. Завтра появятся новые данные, и наши теории соответственно должны будут измениться. Однако вопрос о том, будут ли эти новые теории ближе к объективной реальности, чем им предшествовавшие, лишен смысла. Современные естественнонаучные теории, как утверждают позитивисты, обоснованны в такой же мере, как в свое время казалось обоснованным учение Аристотеля. Некоторые зарубежные естествоиспытатели и философы высказывают еще более крайний взгляд, согласно которому по мере развития естественнонаучного знания в нем все более возрастает элемент субъективности. Получается, таким образом, что прогресс естествознания неуклонно разъединяет природу и исследователя.

Но реальный ход развития естествознания полностью опровергает подобные взгляды, давая все новые подтверждения сформулированных В. И. Лениным положений о соотношении объективной, относительной и абсолютной истины. О том, что наше знание о природе не замыкается само в себе, а отражает с определенной, но все увеличивающейся степенью точности реальные особенности природы, убедительно свидетельствует неожиданность, «диковинность» важнейших открытий современного естествознания, а также ненаглядность многих научных представлений. Ведь наглядность связана с особенностями и условиями познания человеком окружающего мира. Но сами изучаемые явления существуют независимо от нашего сознания и поэтому вовсе не обязаны протекать наглядно с нашей, человеческой точки зрения. Изложенные соображения полностью относятся не только к отдельным явлениям природы, но и к характеризующим ее все более глубоким закономерностям, которые формулируются разными естественными науками на эмпирическом и теоретическом уровнях знания. То, что эти закономерности часто оказываются, в свою очередь, необычными, показывает, с какой настойчивостью природа может заста-

вить нас отказаться от привычных представлений, оказавшихся слишком грубым приближением к объективной реальности, и ввести новые, более адекватные ей.

При обсуждении вопроса о перспективах построения единой естественнонаучной картины мира сталкиваются две точки зрения.

Одна из них исходит из реально существующей тенденции все большего единства естественнонаучного знания. На этом основании считается, что, исходя из фундаментальных законов современной физики, может быть построена завершенная (разумеется, лишь в некоторых основных чертах) естественнонаучная картина мира; вся совокупность явлений природы—физических, астрофизических, химических, биологических и т. д., как уже известных, так еще и не открытых—может быть сведена к этим законам. Модификация указанной точки зрения состоит в том, что единство естественнонаучной картины мира недостижимо в рамках уже известных теорий, но будет получено в сравнительно недалеком будущем, после построения «единой физической теории», включающей гравитационные, релятивистские и квантовые явления.

Хотя идея о том, что бесконечное число *явлений* природы может быть понято на основании ограниченного числа фундаментальных законов и теорий, в принципе не может быть полностью исключена, она, как свидетельствует развитие современного естествознания, является недостаточной. Законы природы также оказываются бесконечно многообразными. Какие бы общие и «окончательные» законы, описывающие фундаментальные свойства материи, мы ни установили, они, как можно думать, должны иметь лишь ограниченную область применимости. Следовательно, любая единая естественнонаучная картина мира представляет собой лишь относительно завершённый теоретический синтез знаний и по мере дальнейшего исследования природы будет сменяться новыми, но всегда лишь относительно завершёнными «едиными картинами мира» все большей степени общности и точности. Именно к такому выводу приводит, на наш взгляд, наиболее последовательное понимание принципа неисчерпаемости материи.



\* \* \*

Мы кратко рассмотрели лишь некоторые вопросы, связанные с применением материалистической диалектики в качестве методологии естественнонаучного поиска. Но даже из сказанного очевидно, насколько велика ее роль в синтезе нового знания о природе. Не представляя собой какой-то догмы или универсального рецепта на все случаи жизни, материалистическая диалектика является мировоззрением и определенным способом мышления, который может привести—и приводит—к интересным и плодотворным результатам. Это возможно потому, что она развивается и обогащается на основе обобщения всей человеческой практики и познания. Дальнейшее развитие материалистической диалектики на основе достижений современного естествознания—актуальная и важная задача.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. См., например, статьи *Ф. Франка*, *Г. Рейхенбаха* и др. в сборнике *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, Evanston, 1949.
2. *A. S. Eddington*, *The Philosophy of Physical Science*, Cambridge, University Press, 1939, p. 57.
3. *A. S. Eddington*, *Relativity Theory of Protons and Electrons*, Cambridge, University Press, 1936, p. 329.
4. *А. Эйнштейн*, *Собрание научных трудов*, т. IV, «Наука», М., 1968, стр. 291.
5. *А. Эйнштейн*, там же, стр. 40.
6. *А. Эйнштейн*, там же, стр. 183.
7. *В. И. Ленин*, *Полн. собр. соч.*, т. 29, стр. 317.
8. *В. А. Амбарцумян*, *Научные труды в двух томах*, т. 2, Изд-во АН Арм. ССР, Ереван, 1960; *Проблемы эволюции Вселенной*, Изд-во АН Арм. ССР, Ереван, 1968.

## МАТЕРИАЛИСТИЧЕСКАЯ ДИАЛЕКТИКА—МЕТОДОЛОГИЯ И ЛОГИКА РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ\*

После первого Совещания\*\* положение дел в отношении связи между естественниками и философами значительно улучшилось в том смысле, что мы замечаем, как философы своей работой над вопросами методологии все больше помогают естественникам, а естественники все больше принимают во внимание результаты работы философов, интересуются философскими выводами из своих исследований и общими проблемами, которые имеют философское значение.

Насколько положение здесь изменилось, легко видеть из следующего примера. Очень плохо, когда человек сам себя цитирует. Это не считается хорошим тоном. Тем не менее, принося извинения, я позволю себе привести несколько слов, которые произнес 12 лет тому назад, поскольку это иллюстрирует разительные перемены. Разрешите прочитать фразу, сказанную мною в конце доклада на Первом Всесоюзном совещании по философским вопросам естествознания:

«Второе замечание касается требования, с которым мы, занимающиеся чисто конкретными вопросами, обращаемся к философам. Мы ждем все-таки, чтобы прекратилось то положение, при котором философы (так было по крайней мере весьма часто до сих пор) сдерживали нас в наших поисках нового. Когда мы смело ставили какие-либо вопро-

---

\* Выступление на Втором Всесоюзном совещании по философским вопросам естествознания (Москва, декабрь, 1970 г.), посвященном 100-летию со дня рождения В. И. Ленина. Печатается по тексту журнала «Вопросы философии», 1971, № 3, стр. 24—28.

\*\* Имеется в виду (Первое) Всесоюзное совещание по философским вопросам естествознания (Москва, октябрь, 1958 г.). Доклад В. А. Амбарцумяна на этом совещании см. стр. 9 настоящего сборника.

сы и когда наука подходила к чему-то еще не разгаданному, к чему-то чрезвычайно глубокому и интересному, то нас старались некоторые философы сдерживать — как бы наши ученые не впали в идеализм! Философы должны знать, что за ними большой долг, и мы хотим, чтобы наши философы настолько углубились в решение больших, принципиальных вопросов в области естествознания, чтобы они могли факелом философской мысли освещать новую дорогу, открывающуюся перед современным естествознанием».

Я с большим удовлетворением хочу констатировать, что в настоящее время многие философы действительно идут по этому пути в своей конкретной работе. И сейчас даже неудобно напоминать об этом прошлом. Встречаясь второй раз, мы можем отметить, что сделано много нового и хорошего. Мы ждем от наших философов еще более плодотворной работы в дальнейшем, которая помогла бы нашим естествовникам еще смелее идти по пути поисков нового.

Мне хотелось бы сейчас сделать некоторые дополнительные замечания, разъясняющие точку зрения, изложенную в нашем совместном с В. В. Казютинским докладе\*, и подчеркнуть отдельные моменты.

Новые представления о Вселенной чаще всего возникают, как известно, в результате обобщения фактических данных. Аналогичным образом обстоит дело и во многих других областях естествознания. Приведенные в тексте доклада примеры вовсе не исключают того, что в астрофизических исследованиях возрастает также роль физико-теоретических и математических предпосылок. В тех случаях, когда имеются достаточно разработанные теории (например, теория звездных атмосфер), они служат надежным инструментом анализа и обобщения фактов. Но эти примеры все же показывают, что ни о каком уменьшении роли эмпирических данных в современном естествознании не может быть и речи.

Роль опыта, а при изучении Вселенной роль наблюдения, велика и с каждым годом возрастает. Несмотря на это, в современном естествознании мы наблюдаем многочисленные случаи, когда делаются попытки построения теории без достаточного анализа опытных данных, без добросовестного

---

\* Совместный с В. В. Казютинским доклад см. на стр. 108 настоящего сборника.

и глубокого изучения фактического материала. Такие явления сравнительно часто имеют место, например, в астрофизике. Так, в 50-х годах получила распространение и стала модной теория эволюции звезд в сторону возрастания их массы посредством так называемой аккреции, то есть поглощения межзвездного вещества, встречающегося на пути звезды. Другим примером может служить пресловутая теория появления радиогалактик в результате случайного столкновения двух нормальных галактик. Эта теория была в моде в 50-х годах и в начале 60-х годов.

Кстати, обе эти теории в свое время были излюбленной темой для многих, в том числе и наших советских, популярных журналов, красочно описывавших, как звезда поглощает целую туманность, или помещавших детальные схемы возникновения радиоизлучения в результате почти центральных столкновений галактик.

Обе эти теории ныне мертвы. Но не столько важен факт их смерти, как важно то, что они были как бы обречены на смерть с самого момента своего появления, ибо, как показывает изучение истории вопроса, они уже тогда противоречили фактическим данным, установленным в астрофизике.

Чтобы не говорить только о теориях, которые, по всеобщему мнению, уже мертвы, я позволю себе привести другой пример. Возьмем теорию Спицера, объясняющую, почему в богатых сферических скоплениях галактик нет (или очень мало) галактик, содержащих молодые звезды или звездные ассоциации (на языке астрономов в них нет спиральных галактик типов Sb или Sc), а вместо них имеются галактики типа S0, в которых нет молодых звезд высокой светимости или O-ассоциаций.

Согласно Спицеру, галактики, входящие в сферические скопления, встречаясь при своих движениях и проходя беспрепятственно друг через друга, постепенно лишаются межзвездных газовых облаков. Межзвездная материя при этих прохождениях как бы «вычесывается» из них. А поскольку молодые группы горячих гигантских звезд, по Спицеру (и вообще по распространенным, но спорным представлениям), возникают из газовых облаков, то галактики лишаются способности породить подобные группы и тем самым превращаются из спиралей типа Sb и Sc в галактики S0.

Но эта теория игнорирует весьма важный факт неста-

бильности сферических скоплений галактик, вследствие которой за время жизни скопления вероятность встреч очень мала (если не считать только нескольких центральных галактик).

Можно привести и другие факты, которым эта теория противоречит, например, факт огромной систематической разницы в массах Sc и S0 галактик. Эта теория еще пользуется известной популярностью, но она обречена так же, как и первые две теории, поскольку не учитывает эмпирических данных и построена только для объяснения определенных, специально отобранных фактов.

Дело, однако, не только в недооценке фактических данных. Часто делаются попытки построения теорий даже тогда, когда мы не имеем почти никакой информации о природе явления. Астрономы уже тысячи лет изучают звезды, но до сих пор еще нет сколько-нибудь серьезной теории формирования звезд и звездных групп. Есть только отдельные, противоречащие друг другу гипотезы. Однако уже через два или три года после открытия квазаров, когда мы ничего еще не знали об этих интересных объектах, американский физик Э. Теллер выступил с докладом о происхождении квазаров. На самом же деле даже теперь, через несколько лет после этого, мы не знаем даже в грубых чертах природу квазаров, хотя имеем некоторые данные о явлениях в их внешних оболочках. Очевидно, что и сейчас было бы нелепо пытаться говорить о происхождении объектов, сущность которых еще не понята.

Весьма частое появление подобных оторванных от фактов теорий заставляет напомнить, что основой астрофизики являются факты, обнаруживаемые наблюдениями. Это получило выражение в формулировке: астрофизика есть наука наблюдательная. Однако эта формулировка представляет действительное положение дела в несколько утрированном виде,—астрофизические теории также составляют часть астрофизики как науки. Поэтому, уточняя, мы должны сказать, что астрофизика—наблюдательная наука в том смысле, что ее специфической основой являются наблюдения над физическими явлениями в космосе. Но хотя в фундаменте астрофизических теорий лежат также общие физические теории, они не составляют специфической основы астрофи-

зики, ибо они служат основой и ряда теоретических разделов других наук, например, химии, оптики и т. д.

В наших предыдущих выступлениях по методологическим вопросам естествознания\* мы защищали тезис о том, что астрофизические (так же как и аналогичные другие специальные) теории должны быть обобщениями наблюдательных данных. Продолжая защищать это положение, мы хотели бы дать по этому поводу два разъяснения:

1) Очевидно, что для построения этих обобщений нужно использовать существующие физические теории. Более того, при построении теорий для одних астрофизических явлений приходится пользоваться результатами теорий, уже разработанных для других явлений. Таким образом, новые обобщения наблюдательных данных часто основываются на ранее сделанных других обобщениях и на новых фактах. Говоря об этом, мы хотим подчеркнуть многоступенчатость теоретических построений и взаимозависимость различных теорий.

2) Утверждение о том, что всякая астрофизическая теория является обобщением наблюдательных данных, фиксирует лишь одну сторону дела.

Астрофизика, как и другие науки, содержит как фактические данные, так и теоретические положения различных уровней общности. Согласно ленинской теории отражения, наше знание фактических данных является отражением отдельных реальных явлений в природе. Что касается теоретических обобщений, то они являются не просто лишь средством запоминания большого количества фактов, так сказать, мнемоническими правилами, позволяющими закрепить в памяти науки множество фактических данных. Каждое правильное теоретическое обобщение является более или менее точным отражением реально существующих общих соотношений между отдельными объектами: более высокие ступени теоретической лестницы являются отражением более глубоких, но реально существующих общих отношений во внешнем мире.

Благодаря огромной сложности системы соотношений между различными объектами и явлениями природы, очевидно, одни соотношения могут выступать как следствия других. Это значит, что одни теоретические построения могут возни-

---

\* Все эти выступления помещены в настоящем сборнике.

кать из других, продолжая при этом оставаться обобщениями эмпирических данных.

Поэтому, естественно, становится возможным развитие новых теорий иногда даже без привлечения дополнительных фактических данных, то есть как бы внутреннее развитие (астрофизической или физической) теории. Примером из физики может служить уравнение Дирака, когда для уточнения уравнения Шредингера были использованы требования релятивистской инвариантности и некоторые другие теоретические принципы. Конечно, здесь большую роль играла интуиция. Новая, более правильная нелинейная теория пульсаций цефеид возникла не потому, что после создания предшествовавшей ей линейной теории пульсаций появились дополнительные эмпирические данные (хотя многие важные эмпирические данные за этот промежуток времени были действительно установлены), а в результате предъявления к теории более строгих требований, а также критического пересмотра вопроса о том, удовлетворяла ли линейная теория данным, которые были известны уже до ее построения.

Тем не менее можно утверждать, что даже и таким путем сформулированные теории являются обобщением, хотя иногда весьма сложно опосредствованным, опытных данных. Вместе с тем они отражают объективно существующие связи и причины на более глубоком уровне, чем простые списки и каталоги наблюдательных данных.

Это первое, что я хотел сказать по поводу того, является ли теория обобщением наблюдательных данных.

Второй момент, на котором я хочу остановиться,—это вопрос о роли материалистической диалектики в научном поиске, в синтезе нового знания. Является ли философия сейчас, как и раньше, для естествознания источником новых идей или она утратила эту роль вместе с крушением натурфилософии? Влияет ли философия на изучение природы лишь через созданную картину мира и основанный на ней способ мышления, свойственный данной ступени развития естествознания, или также более непосредственно, в том числе в ситуациях, возникающих, на эмпирическом уровне исследования?

Нередко считают, что теоретическое естествознание достигло уже такой степени зрелости, что оно способно формулировать основные естественнонаучные идеи, не прибегая к

помощи философии. Другое понимание этого вопроса относят к рецидивам «натурфилософии».

Конечно, попытки умозрительного конструирования естественнонаучных теорий путем дедуцирования их из «чисто философских» соображений давно и безвозвратно отброшены современной наукой. Но философские идеи атомизма, причинности, развития и многие другие отнюдь не утратили своего методологического значения и сейчас. И они активно участвуют в синтезе новых естественнонаучных представлений, разумеется, в теснейшей взаимосвязи с эмпирическими данными и теоретическими представлениями, сложившимися в соответствующей области естествознания. И притом эвристическое значение философских категорий, принципов и идей можно заметить на всех уровнях естественнонаучного исследования. За последние годы всесторонне раскрыта эвристическая роль материалистической диалектики в синтезе современной научной картины мира.

Роль философии является весьма существенной также в построении и развитии фундаментальных теорий современной физики. Подобно тому, как физико-теоретические соображения позволяют выбрать определенный тип уравнений, применяемых при построении математического аппарата теории, так и философские соображения содействуют формулировке принципов, которые затем используются при разработке физической интерпретации теории.

Но философия часто «работает» и в более конкретных ситуациях: при создании теорий, описывающих закономерности сложных явлений на основе знания фундаментальных законов природы, а во многих случаях даже на эмпирическом уровне исследования. В частности, диалектическая концепция развития в сочетании с тщательным анализом фактического материала позволила сформулировать идею, что нестационарные объекты во Вселенной не исключение среды наблюдаемых многочисленных объектов исследования, а закономерная фаза космической эволюции.

И, наконец, говоря о значении философии для развития наук, следует особенно подчеркнуть роль философских идей для дальнейшего развития и обобщения фундаментальных понятий естествознания.

Здесь я хочу процитировать замечательные слова академика В. А. Фока, который говорит:



«Вообще любая физическая теория—пусть это будет даже теория тяготения Эйнштейна—имеет свои пределы применимости, и неограниченно экстраполировать ее нельзя. Рано или поздно становится необходимым введение существенно новых физических понятий, соответствующих свойствам изучаемых объектов и применяемым средствам их познания, а тогда выявляются и пределы применимости теории, причем возникают новые гносеологические вопросы. Руководящими идеями при решении этих вопросов должны быть и впредь идеи диалектического материализма, с такой ясностью и общностью сформулированные В. И. Лениным» [1].

Авторы доклада целиком присоединяются к этому мнению В. А. Фока.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. А. Фок, Квантовая физика и философские проблемы. «Вопросы философии», 1970, № 4, стр. 65.

## СОВРЕМЕННОЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ И ФИЛОСОФИЯ\*

С развитием современного естествознания возникло множество острых философских проблем, привлекающих пристальное внимание как философов, так и естествоиспытателей. Вот почему, будучи специалистом в области астрофизики, я с удовольствием принял приглашение выступить перед участниками XIV Международного конгресса. Конечно, я хорошо сознаю возникающие при этом трудности. Во-первых, как справедливо говорил Эйнштейн, «если вы хотите узнать у физиков-теоретиков что-нибудь о методах, которыми они пользуются, я советую вам твердо придерживаться следующего принципа: не слушайте, что они говорят, а лучше изучайте их работы» [1].

Эти слова, разумеется, могут быть отнесены и к астрофизикам. Во-вторых, не следует забывать, что естествоиспытатели не всегда достаточно компетентны в различных философских тонкостях, так как философия имеет свою собственную область, лишь в некоторой «пограничной зоне» пересекающуюся с проблемами естествознания. Тем не менее, поскольку философские проблемы естествознания вызывают сейчас довольно частые дискуссии среди естествоиспытателей, в том числе и в СССР, я все же позволю себе высказать свое мнение по некоторым из них.

### РЕВОЛЮЦИЯ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ XX в.

Современное естествознание проникает все больше в новые, ранее не известные или не доступные для исследования области природы, что привело к революции в наших о ней

---

\* Доклад на пленарном заседании XIV Международного философского конгресса (Вена, сентябрь, 1968 г.). Русский текст по сборнику «Философия и современность», «Наука», М., 1971, стр. 238—263.

представлениях. Теории, считавшиеся универсальными, оказались применимыми лишь в определенных и довольно узких пределах. Многие укоренившиеся догмы, предвзятые утверждения и предрассудки, которые рассматривались как «незыблемые», стали теперь достоянием истории естествознания. Современное естествознание создало новые фундаментальные понятия и теории, новую естественнонаучную картину мира, более глубоко отражающую реальность природы.

Многие результаты современного естествознания были необычными, ненаглядными, противоречащими так называемому «здравому смыслу». От привычного—к непривычному, «дикийнному»—так определил суть «новой революции в естествознании» В. И. Ленин, анализируя в своей работе «Материализм и эмпириокритицизм» начальную фазу этой революции, связанную с формированием современной физики. Дальнейшее развитие естествознания доказало справедливость такого вывода.

В настоящее время физика, которая была и остается лидером современного естествознания, развивается значительно более «спокойно», чем в начале XX в.: революция в ней пока закончилась. Выдающиеся достижения последних трех десятилетий основаны на применении уже известных физических понятий, законов и теорий.

Вместе с тем проникновение методов и достижений современной физики в другие науки—химию, биологию и т. д.—привело к их бурному развитию, созданию принципиально новых представлений, что с полным правом рассматривается как продолжение революции в современном естествознании.

В этой связи нередко высказывается мнение, что роль лидера естествознания уже переходит или в ближайшем будущем перейдет к биологии. Но с этим вряд ли можно согласиться. Конечно, следует ожидать, что проблемы биологии, привлекающие сейчас все больший интерес, могут оказаться в центре внимания всего естествознания, как это было в свое время с физическими проблемами. Однако нет оснований ожидать, что решение сложных задач, связанных с выяснением сущности живого, потребует создания новых фундаментальных законов и теорий физики.

Временно уступив биологии свое место в отношении бурных темпов развития, физика все же сохраняет свое первенствующее положение в качестве фундамента всех

других естественных наук, где революционные изменения неизбежно сказываются и на всех других науках о природе.

Серьезные шансы стать в ближайшем будущем подлинным лидером современного естествознания—если уже говорить об этом—имеет астрономия. Вплоть до последних десятилетий астрономы изучали объекты, известные фактически уже тысячи лет: планеты, кометы, звезды, рассеянное газово-пылевое вещество. Однако сейчас во Вселенной открыты объекты принципиально нового типа: ядра галактик, в которых происходят грандиозные взрывы, квазизвездные радиоисточники (квазары) и др. Попытки описать их в рамках известных сейчас фундаментальных физических теорий встречаются с огромными, возможно непреодолимыми трудностями. Именно от астрономии следует уже в недалеком будущем ожидать выявления новых фактов, которые потребуют формулировки новых физических теорий, более общих, чем известные сейчас. Подробнее об этом будет сказано ниже.

В числе основных особенностей современного естествознания часто называют его «математизацию», «кибернетизацию», «космизацию»; авторов, которые считают подобные термины излишними, иногда обвиняют даже в «консерватизме». И все же введение этих «модных» ныне терминов лишь отчасти вызвано интересами существа дела.

Естествознание всегда стремилось всюду, где возможно, изучать явления в количественном аспекте, описывая их математически. Понятно, что по мере усложнения изучаемых в естествознании явлений используется также все более сложный математический аппарат, получают применение все новые разделы математики. Но это не означает никакого принципиального изменения в задачах и методах естествознания. Соответственно, называя применение в естествознании достижений технической кибернетики, которые сами являются следствием развития естествознания, его «кибернетизацией», сторонники этого «модного» термина не ставят никакой проблемы, ограничиваясь довольно бесплодными рассуждениями. Наконец, несомненно, что выход человечества в космос является мощным стимулом для развития всех естественных наук, поскольку они тесно взаимосвязаны. Но и здесь пока не видно каких-либо особых тенденций, которые могли бы характеризоваться термином «космизация».

Вместо применения этих терминов лучше со всей силой подчеркнуть разнообразие средств, методов и направлений исследования, которое характерно в наше время для всех естественных наук.

### ПРОБЛЕМА СУБЪЕКТА И ОБЪЕКТА ПОЗНАНИЯ

Естествознание XVII—XIX вв. исходило из ряда гносеологических предпосылок, основанных в конечном счете на философии метафизического материализма,—о пассивном, созерцательном характере процесса познания, о том, что объектом естествознания является непосредственно внешний мир, материя «сама по себе», о возможности получения полностью адекватного, «абсолютного» знания объективной реальности.

В ходе научной революции XX в. все эти предпосылки были опровергнуты, что дало повод для многочисленных утверждений о «крушении материализма» и появления ряда философских концепций в духе позитивизма, субъективного и объективного идеализма. Однако метафизический материализм нельзя отождествлять со всяким материализмом вообще. Более ста лет назад Карлом Марксом был создан диалектический материализм—новая, высшая форма материализма,—развитый затем В. И. Лениным.

С диалектико-материалистической точки зрения, явления внешнего мира существуют до и независимо от сознания человека или человечества. Но объектом познания становятся фрагменты, аспекты, части материального мира, выделенные субъектом познания (под которым понимается человечество, рассматриваемое в определенном аспекте) в процессе общественно-исторической практики и им активно усваиваемые (таким образом, категории «материя» и «объект», «сознание» и «субъект» оказываются нетождественными). Активность субъекта познания приводит в конечном счете к приближенному отражению объективной реальности в знании, причем в ходе научного развития достигается все большая точность, адекватность знания.

Многие стороны проблемы субъекта и объекта познания за последние годы получили дальнейшее развитие в марксистской философской литературе, прежде всего в работах С. Л. Рубинштейна, П. В. Копнина, В. А. Лекторского; ана-

лизу проблемы субъекта и объекта познания в физике посвящены исследования М. А. Маркова, В. А. Фока, М. Э. Омеляновского, С. Г. Суворова, П. С. Дышлевого и др. В этих работах убедительно показано, что идеи, высказанные основоположниками марксистской философии, в частности, по проблеме субъекта и объекта, не только не устарели, но и позволяют дать правильный анализ того «гносеологического урока», который, по словам Бора, преподала нам современная физика.

Когда сторонники субъективного идеализма, исходя из того, что познание природы возможно лишь на основе активного взаимодействия субъекта и объекта, стали утверждать, что тем самым навсегда покончено с объективной реальностью и ее независимым от субъекта существованием, то они смешивали два разных вопроса: 1) существует ли объективная реальность вне и независимо от субъекта; 2) как она может быть отражена в знании.

Если говорить об активности субъекта на эмпирическом уровне познания, то, конечно, постановкой все более изоощренных экспериментов и наблюдений мы задаем природе все большее число вопросов, причем направленность этих вопросов зависит как от круга интересов субъекта, так и от существующей системы знаний. Бесчисленное множество экспериментов ставится таким образом, чтобы ответить «да» или «нет» относительно предсказания той или иной теории. Прекрасным примером здесь могут служить наблюдения во время полных солнечных затмений для обнаружения эффекта искривления световых лучей в поле тяготения Солнца, предсказанного общей теорией относительности Эйнштейна. Несомненно, направленность наших вопросов природе должна оказывать известное влияние и на характер общих представлений о природе, составляемых на основе полученных ответов. Однако хорошо известно, что в процессе экспериментов и наблюдений природа со своей стороны ставит перед субъектом еще большее число вопросов, и подчас очень неожиданных. Например, астрофизик, изучающий строение отдаленных галактик, интересуется тем, из каких типов звезд, хорошо известных нам в нашей Галактике, они состоят. И вот при этих наблюдениях обнаруживаются вспышки Сверхновых, и таким образом открывается не только новый тип звездного «населения», но и новые процессы

освобождения гигантских количеств энергии в природе, сущность которых является совершенно новой проблемой.

Другой пример. Сейчас мы уже не удивляемся тому, что в космических лучах были открыты новые типы элементарных частиц, причем, возможно, мы знаем еще не все из них. Однако первое такое открытие—открытие позитрона в 1932 г.—было совершенно неожиданным, так как до тех пор были известны всего две элементарные частицы—протон и электрон. Казалось, что других частиц и не должно быть, и исследователи космических лучей вовсе не ставили своей целью обнаружение каких-либо новых частиц. Те, кто плохо знает историю науки, могут возразить, что существование позитрона было предсказано Дираком и что физики искали именно предсказанную им частицу. Но открытие позитрона оказалось неожиданным, поскольку Дирак в своей работе ошибочно отождествил предсказанные им «дырки» с протонами, и вплоть до открытия позитрона теоретики бились над вопросом, чем же в таком случае объясняется столь большое различие в массах частицы и античастицы.

Эти, может быть, довольно случайные, примеры показывают, насколько неожиданными с точки зрения первоначальных интересов субъекта познания бывают вопросы, поставленные природой. Случается, что в ответ на довольно неопределенные наши вопросы природа отвечает другими—весьма определенными, но трудными вопросами. Так, когда астрономы стали вести с помощью радиотелескопов наблюдения монохроматических линий гидроксила для выяснения пространственного распределения молекул OH в Галактике, то с первых же шагов они столкнулись с крайне компактными источниками, испускающими радиоволны в тех же спектральных линиях, и таким образом неожиданно возник очень интересный и трудный вопрос о природе этих объектов.

Конечно, для науки представляет определенную ценность результат любого правильно поставленного опыта; но все же следует признать, что наибольшим стимулом для научного прогресса являлись те случаи, когда природа давала неожиданные для исследователя ответы или ставила сама еще более неожиданные вопросы.

Что касается теоретического уровня познания, то следует прежде всего остановиться на изменении способа описания природы, которое произошло в современной физике.

Квантовая физика показала, что возмущения в состоянии микрообъекта, вносимые его взаимодействием с макроприбором, не могут быть сделаны сколь угодно малыми. Поэтому классическое описание квантовой системы становится невозможным. В связи с этим Бор обосновал необходимость принципиально нового, квантовомеханического (дополнительного) способа описания [2]. Этот способ описания был развит затем В. А. Фоком. Квантовомеханический способ описания является крупнейшим завоеванием не только физики, но и всего естествознания, так как он позволил в отношении очень широкой области качественно новых явлений отказаться от предрассудков, основанных на наивных представлениях, возникших из повседневного опыта.

Итак, и здесь попытки естествоиспытателей понять новую область явлений привели не только к неожиданным ответам, но и к неожиданно новой форме описания этих явлений. Физики должны были еще раз ощутить, с какой настойчивостью природа может заставить нас отказаться от старых представлений и ввести новые, предсказываемые наблюдением и экспериментом.

Сам факт появления этих «сюрпризов» и то, что иногда принятые и защищаемые всеми учеными представления о сущности какого-либо явления природы отбрасываются под напором новых фактов и новых наблюдений,—наилучшее доказательство существования объективной реальности вне и независимо от субъекта.

На Конгрессе в Вене видный английский философ Дж. Айер возражал против этого утверждения, заявляя, что положение о существовании объективной реальности независимо от субъекта не может быть проверено и в силу этого не имеет смысла. Философия, так же как и наука, по мнению Айера, не должна иметь дело с подобными утверждениями.

Можно согласиться, что в науке не следует оперировать предложениями, которые принципиально не могут быть проверены на практике. Мы, материалисты, согласны с этим именно потому, что считаем основным источником научного познания практику, опыт и наблюдения. Однако суть дела заключается в том, что вся история науки свидетельствует о возможности проверки утверждения о независимом от субъекта существовании объективной реальности.

Для этого и были приведены и приводятся ниже много-



численные факты, показывающие, как природа заставляет нас отказаться от старых представлений, не соответствующих ее закономерностям, подносит нам «сюрпризы» и предстает перед исследователями порою в совершенно неожиданном аспекте. Именно это свойство природы описывается взятым под сомнение Айером утверждением.

На Венском конгрессе высказывалось также утверждение, что, прежде чем говорить о существовании или несуществовании объективной реальности независимо от нашего сознания, надо дать определение того и другого. Без такого определения мы якобы не будем знать, о чем мы говорим.

Как известно, математики, стремясь к максимальной строгости своих теорий, желали всегда точно определить те понятия, которыми они оперируют, и строить свои доказательства, только пользуясь подобными понятиями. Такая «аксиоматизация» математики дала известные положительные результаты, хотя могут быть совершенно разные оценки эвристической ценности этого метода.

Более того, были сделаны попытки «аксиоматизации» некоторых очень хорошо и последовательно разработанных разделов теоретической физики, например, статистической механики, квантовой механики. Не отрицая некоторой ценности этих попыток с точки зрения их влияния на дальнейшее развитие естествознания, я должен сказать, что роль таких исследований в физике очень скромна по сравнению с ролью какого-нибудь важного экспериментального или наблюдательного открытия, вызывающего целый переворот в наших взглядах. Однако важно не это. Важно то, что объектом «аксиоматизации» всегда становятся теоретические дисциплины, основы которых разработаны до конца. Что касается многих актуальных вопросов естествознания, то никто не интересуется их «аксиоматизацией». Практически она не имеет смысла, так как новые открытия могут повести к следствиям, выигрыш от которых неизмеримо больше, чем выигрыш, основанный на небольших уточнениях понятий, связанных с «аксиоматизацией».

Например, сейчас астрофизика интенсивно занимается исследованием квазизвездных объектов. Астрофизики собирают с небывалой энергией информацию о них. Было бы нелепо, если бы педанты, допускающие употребление лишь строго определенных понятий, потребовали бы сейчас от

астрофизиков, участвующих в этом стремительном потоке открытий, дать строгое определение природы квазизвездных объектов и только потом продолжать их исследование. Кстати, природа квазаров остается пока нам во многом неизвестной, хотя объем информации об этих объектах довольно значителен и мы знаем практические способы, позволяющие более или менее надежно различать их среди других объектов.

Биологи, и не только они, еще спорят об определении жизни. Они пока не все знают о сущности жизненных процессов. Это показывает лишь, что требование «аксиоматизации» в области общебиологических проблем было бы преждевременным. Тем не менее биологи успешно устанавливают многие закономерности жизненных процессов. В связи с этим стоит вспомнить слова Ф. Энгельса, сохраняющие свою силу и поныне: «Наша дефиниция жизни, разумеется весьма недостаточна, поскольку она далека от того, чтобы охватить *все* явления жизни, а, напротив, ограничивается самыми общими и самыми простыми среди них. Все дефиниции имеют в научном отношении незначительную ценность. Чтобы получить действительно исчерпывающее представление о жизни, нам пришлось бы проследить все формы ее проявления, от самой низшей до наивысшей» [3].

Можно с уверенностью сказать, что разработка проблем философии естествознания еще не достигла той ступени, на которой остается лишь заняться аксиоматизацией и уточнением употребляемых понятий. Однако естествознание, вся история его развития поставляет нам большой фактический материал, позволяющий судить о том, как внешний мир подносит неожиданности исследователям, как природа заставляет ученых оставить воззрения, за которые они долго цеплялись, как в поисках фактов, могущих подтвердить их теории, они наталкивались в своих экспериментах на новые открытия, вызывающие революции в естествознании.

Разве все это не подтверждает, что внешний мир существует независимо от нашего сознания? Если даже не вполне точно определены некоторые термины, все же приведенных разительных фактов достаточно для такого утверждения. Можно долго спорить о точном понятии длины линейки, лежащей на моем столе. Но и без этих уточнений можно считать опровергнутым утверждение, что ее длина больше

пяти метров, хотя бы потому, что размеры стола, на котором она помещается, меньше двух метров. Конечно, педант скажет, что термин «размеры стола» также нуждается в уточнении, однако вряд ли кто будет прислушиваться к его критике.

Современная теоретическая физика использует все новые и новые разделы математики. Многие разделы математики, которые родились в результате внутренней логики развития самой математики, вне всякой связи с физикой, оказались с течением времени необходимыми при построении фундаментальных теорий современной физики (неевклидова геометрия, тензорный анализ, теория групп). Это явление стали иногда рассматривать как «навязывание» субъектом природе ряда сложных математических закономерностей. Очевидно, однако, что именно бесконечное многообразие открываемых в природе новых явлений и возникающая в связи с этим необходимость обобщения результатов наблюдений и экспериментов вызывают потребность во все более мощном и сложном математическом аппарате. Было бы странно, если бы наблюдалась обратная картина, т. е. увеличивающееся разнообразие изучаемых явлений и законов природы укладывалось бы в сравнительно ограниченное число возможных простых математических схем. Поэтому вполне естественно, что некоторые типы математических теорий, разрабатывавшихся сначала в рамках «чистой» математики, с течением времени находят различные практические применения. Здесь играет большую роль также то, что математика применяется физикой для создания все более общих теорий и схем. Однако не всякая общая математическая схема находит свое применение в физике или в других отраслях естествознания. Например, риманова геометрия является одним из многих обобщений геометрии Евклида, но именно она нашла себе применение в общей теории относительности, тогда как многие другие варианты таких обобщений остаются чисто математическими построениями. Вероятно, многие из «воображаемых» геометрий так и останутся «свободными созданиями человеческого разума».

Все же это не дает никаких оснований недооценивать эвристическую роль математики. Достаточно напомнить, например, работы Шредингера, который, исходя из эмпирически установленного спектра значений энергии атома,

понял, что можно надеяться найти дифференциальное уравнение, для которого этот спектр является решением задачи о собственных значениях. Конкретную форму этого уравнения он нашел из ряда дополнительных соображений, быть может недостаточно строгих, с точки зрения сегодняшних физических представлений, однако эвристическая роль математики для его открытия была очень велика.

Тем не менее решающим был тот эмпирический факт, что спектр собственных значений энергии атома сразу напоминал спектр собственных значений дифференциального уравнения. Еще более интересно уравнение электрона Дирака, на основе которого не только были описаны известные свойства электрона, но и, как уже упоминалось, была впервые поставлена проблема античастиц (хотя, повторяю, сперва Дирак считал протон античастицей для электрона). Здесь мы имеем дело со случаем, когда математическая теория неожиданно для самого ее автора оказалась способной объяснить непредвидимый круг явлений.

Вероятно, можно привести еще более разительные примеры открытия новых явлений исходя из описывающих природу математических законов. Но значит ли это, что физические теории, как правило, могут развиваться без обращения к опыту и должны лишь «в конечном счете» находить опытное «оправдание»? Не может быть ничего ошибочнее такого заключения. В самом деле, вернемся к рассмотренным нами примерам.

Уравнение Шредингера, как и все законы квантовой механики, учитывало огромное количество эмпирических данных атомной физики, являясь их обобщением. Дирак получил уравнение, исходя из релятивистского уравнения Шредингера и некоторых дополнительных требований,—необходимости учета спина электрона и исключения всех высших производных по времени. Последнее в конечном счете также было обусловлено опытными данными. Поэтому уравнение Дирака явилось новым, более точным и логически более правильным обобщенным описанием свойств электрона. И нет ничего удивительного, что это новое обобщение одного из законов природы привело к следствиям, которые нельзя было предвидеть при самом составлении уравнения. Здесь в определенном смысле повторилась старая история. Закон Ньютона был сначала получен для солнечной системы, имеющей, как

известно, весьма своеобразное строение, но он оказался применимым и к далеким звездным системам.

Таким образом, дело не в том, что физические теории должны создаваться непременно на основе метода «математических гипотез», но в том, что законы природы обладают иногда общностью, далеко превосходящей ограниченный круг явлений, из изучения которого они получены. Известно множество случаев, когда важнейшие законы и закономерности природы были найдены именно из обобщения опытных данных, а не из построения математических гипотез. Сошлемся также на свидетельство В. Гейзенберга о методе исследования Н. Бора: «Для Бора признание взаимосвязей исходило не из математического анализа положенных в основу теории предположений, а из интенсивного изучения самих явлений, что позволяло ему чувствовать взаимосвязи скорее интуитивно, нежели выводить их формально» [4].

Вопрос о роли интуиции в естественнонаучном исследовании представляет большой интерес. Иногда дело изображается таким образом, что интуиция—это какое-то «прозрение», ни на чем объективном не основанное. Однако «пророческие» выводы в естествознании, намного опережающие свое время, чаще всего основаны на тщательном продумывании имеющихся фактических данных и умении из многих возможных вариантов их объяснения выбрать тот, который имеет некоторый, быть может едва заметный перевес по сравнению с другими, являясь более близким к истине. В этом умении правильно оценить ситуацию и состоит интуиция естествоиспытателя.

Итак, современное развитие наук о природе, и в частности физики, убеждает нас, что, несмотря на все возрастающую активность субъекта познания, выводы этих наук сейчас, как и раньше, соответствуют существующей вне и независимо от субъекта объективной реальности, точнее, определенным ее сторонам.

Природа бесконечно многообразна в своих проявлениях, а выбор путей ее исследования, как уже отмечалось, бесконечно разнообразен. В этих условиях естествознание на каждом этапе развития способно охватить лишь определенные области явлений природы, причем, как правило, лишь отдельные их аспекты и стороны. Правда, объект исследования естествознания все более расширяется, а наши знания

о природе становятся все более адекватными ей, но это не меняет того факта, что в каждый данный момент естествознание имеет дело лишь с ограниченным количеством аспектов той части объективной реальности, которая выделена имеющимися эмпирическими и теоретическими средствами и представляет собой «мир» естествоиспытателя. Выбор этих аспектов исследования природы связан с общественно-исторической практикой, с условиями и логикой развития науки.

Те аспекты объективной реальности, с которыми имеет дело физика, удобно называть физической реальностью. В области квантовых явлений понятие физической реальности включает не только микрообъект, но и условия познания, поскольку мы должны учитывать здесь конечную величину взаимодействия макроприбора с микрообъектом. Многие авторы, ссылаясь на прежние работы Бора, говорят о «принципиальной неконтролируемости» во взаимодействии микрообъекта и макроприбора. Следует отметить, что термин «неконтролируемость» в данном случае неудачен, так как он создает впечатление, что могут существовать взаимодействия, не поддающиеся физическому исследованию. На самом деле, как подчеркнул В. А. Фок [5], речь идет о логической взаимосвязи между квантовомеханическим и классическим способами описания, причем при переходе с квантового языка на классический происходит как бы утрата точности. Именно это и имел в виду Бор, говоря о «неконтролируемом взаимодействии». В самых последних своих работах он уже не применял этого термина.

В области астрофизических явлений точность информации о состоянии изучаемых объектов практически не зависит от обратного воздействия на них прибора и наблюдателя. Однако астрономия, наряду с такими объектами, как планеты, звезды, галактики, сделала объектом изучения всю систему галактик, пределов которой мы еще не достигли. Поэтому как различные количественные характеристики, приписываемые этой области, так и ее описания различными космологическими теориями являются экстраполяциями, иногда очень смелыми, но пока недостаточно плодотворными. Особенность ситуации, создавшейся в современной космологии, состоит в том, что для описания Метагалактики вводятся математические модели, построенные на основе общей теории относи-

тельности, причем Метагалактика отождествляется со Вселенной как целым.

Оказывается, что такие модели могут описать в определенном приближении некоторые уже известные свойства Метагалактики. В последнее время они позволили даже описать один новый факт—наличие «реликтового» микроволнового излучения в Метагалактике и распределении энергии в нем. Мы особо подчеркиваем этот успех, так как еще недавно могло казаться, что указанные модели не описывают ничего сверх тех данных, которые использовались при их построении. Таким образом, способность теории описать даже один только новый факт не следует недооценивать. Вместе с тем это обстоятельство свидетельствует о том, что упомянутые модели—не окончательные теории, а лишь первые попытки построения общей теории Метагалактики.

Вопрос же о единственности последней нельзя считать решенным. Данные современной астрофизики не исключают предположения о существовании других метагалактик. Можно лишь утверждать, что мы пока не знаем способов их связи и взаимодействия с нашей Метагалактикой. Вероятно, эти способы окажутся совершенно отличными от тех, которые мы можем себе наглядно представить, как мы представляем, например, взаимодействие двух систем, находящихся на некотором расстоянии друг от друга в евклидовом пространстве.

Проблема построения и интерпретации космологических моделей приводит нас к более общей проблеме—о роли моделей в познании и их адекватности моделируемому объекту.

Несмотря на формальную безукоризненность той или иной модели, часто оказывается, что она вовсе не соответствует моделируемому объекту или удовлетворительно описывает только отдельные несущественные его стороны. Это бывает в случаях, когда исходные допущения, принятые при построении модели, далеки от условий, соответствующих реальному объекту. Интересным примером может служить модель «атома Бора», которая, базируясь на несколько измененной форме классической механики, описывала определенный, довольно узкий круг атомных явлений. Однако, строго говоря, она не была адекватна этим явлениям, так как принципы, положенные в основу модели, были неприменимы к условиям микромира. Возможность построения мо-

делей, очень близко описывающих атомные явления, появилась лишь после создания квантовой механики.

Еще один пример. Когда А. А. Белопольский сделал свое знаменитое открытие периодического изменения лучевых скоростей цефеид, сразу же была предложена модель, объясняющая наблюдаемые явления двойственностью этих звезд. В дальнейшем, однако, выяснилось полное несоответствие этой модели статистическим данным об изменениях лучевых скоростей цефеид, установленным из наблюдений. Должна была появиться смелая идея о пульсациях цефеид, чтобы на ее основе стало возможно приблизиться к действительному пониманию процессов в этих звездах. Первые модели пульсаций, исходившие из допущения об их линейном характере, были крайне грубыми и описывали лишь отдельные аспекты изучаемого явления. Только нелинейная теория пульсаций, созданная в самые последние годы, позволила описать их сравнительно адекватно. Но на этом этапе теория пульсаций получила столь значительное развитие и вместе с тем позволила обратить внимание на столь многие новые факты, еще требующие истолкования, что астрофизики говорят теперь уже не столько о конкретных моделях, сколько о математическом описании сложнейших явлений в цефеидах.

До сих пор речь шла о том, что допущения, положенные в основу модели, должны быть по возможности более адекватны реальным условиям в моделируемом объекте. Но успех моделирования в решающей степени зависит от того, достаточны ли в изучаемых условиях используемые нами физические закономерности, в том числе и фундаментальные законы и теории физики.

Принятая сейчас форма основных законов физики базируется на изучении свойств вещества хотя и в широком, но ограниченном диапазоне физических условий. В условиях, резко отличных от уже известных, эти законы могут оказаться неприменимыми и должны будут подвергнуться дальнейшим уточнениям и *обобщению*, что лишь усилит их значение и расширит область их применимости. В самом деле, законы физики представляют собой обобщение определенной совокупности фактических данных, выраженное в возможно более простой и краткой форме. Однако нельзя думать, что система законов теоретической физики, полученная на каком-



то определенном этапе развития науки, является абсолютно точной, законченной и не подлежащей дальнейшему обобщению. Эти законы лишь неполно, приближенно отражают объективную реальность и не только могут, но и должны подвергаться уточнениям и обобщению (уточнение и обобщение законов природы—это единый процесс. Например, переход от классической механики к специальной теории относительности явился и уточнением классической механики, и обобщением ее на случай больших скоростей).

Такой взгляд исходит из анализа развития современного естествознания, которое открывает с течением времени все большее многообразие новых, ранее неизвестных явлений, качественно отличных от тех, с которыми оно имело дело прежде. Для их описания мы уже не раз оказывались вынужденными обобщать физические законы и теории.

Когда мы говорим, что даже такие хорошо обоснованные физические теории, как квантовая механика, специальная и общая теория относительности, имеют лишь ограниченную область применимости, это может дать повод радоваться людям, которым они кажутся слишком «странными» и далеко идущими в отказе от привычных представлений. На самом же деле там, где кончается область применимости известных сейчас фундаментальных физических теорий, должны существовать еще более необычные условия, описание которых потребует более общих фундаментальных теорий, еще решительнее порывающих с классическими представлениями, а не представляющих какой-то «возврат» к ним.

Критикуя некоторые стороны применения метода моделей в естествознании, особенно в той форме, какую оно приняло в астрофизике и космологии, мы, конечно, не стремимся бросить тень на сам этот метод. Все дело лишь в том, что очень часто модели строятся без предварительного (или параллельного) анализа их исходных предпосылок. Но нельзя забывать, что построение моделей оказывается полезным тогда, когда оно исходит из тщательного изучения фактических данных и по возможности достаточно надежных предположений. Чем более точно удастся обеспечить степень адекватности исходных предпосылок условиям, в которых происходит явление, тем более ценной может оказаться модель. Ценность модели наиболее полно выражается в том,

что она позволяет предсказывать какие-то новые явления. Известно, например, что астрофизики уже десятки лет разрабатывают модели внутреннего строения звезд главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга—Рессела, основанные, как всем нам кажется, на довольно разумных предположениях. Но, несмотря на гигантскую по объему работу, несмотря на то, что астрофизика буквально переполнена неожиданными открытиями, на основе современной теории внутреннего строения звезд не было предсказано какого-либо принципиально нового явления, которое было бы затем обнаружено наблюдениями. С другой стороны, после открытия новых фактов их обычно удавалось «согласовать» с теорией путем введения более или менее произвольных дополнительных гипотез. Все это лишает разработанные в настоящее время модели внутреннего строения звезд значительной части их ценности, говорит об их недостаточности. Еще хуже обстоит дело с «моделями Вселенной» в космологии.

Итак, природа снова оказывается гораздо богаче представлений о ней, сложившихся в современном естествознании, а бесчисленные «сюрпризы», которые она преподносит исследователям, делают ее изучение захватывающе интересным.

#### ПРОБЛЕМА ЕДИНСТВА ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОЙ КАРТИНЫ МИРА

До начала XX в. в естествознании было общепринятым представление об универсальности законов классической механики, «сводимости» к ним всех других закономерностей природы. На основе этого представления и была построена механистическая картина мира. Тому, что далеко не всем явлениям природы удалось дать механистическое объяснение, не придавалось существенного значения. Считалось, что это—временно.

Научная революция XX в. разрушила эти метафизические воззрения: стало совершенно очевидным, что многообразие известных явлений природы невозможно втиснуть в узкие механистические рамки. Вместе с тем грандиозные успехи современной физики и ее впечатляющее применение привели к соблазну считать, что некоторое новое, но опять, завершённое, по крайней мере в общих чертах, единство

естественнонаучной картины мира может быть достигнуто на основе фундаментальных законов современной физики, т. е. вся совокупность известных явлений природы—физических, астрофизических, химических, геологических, биологических и т. д., как уже известных, так и еще не открытых—может быть сведена к этим законам.

Между тем при изучении, например, явлений жизни методами физики мы имеем дело с обычными физическими процессами, где чрезвычайно сложная структура молекул, белков, наследственного вещества хромосом и клетки в целом определяет ряд специфических новых качеств живого, которые и изучаются биологией (применение к этим системам принципа дополнительности Бора выявляет серьезные трудности, относящиеся к описанию состояния этих систем; их дальнейшее изучение может привести к новым способам описания, адекватным системам данного типа).

Для дальнейшего обсуждения вопроса о возможности «сведения» явлений жизни к физике мы остановимся на двух важнейших тенденциях в развитии современного естествознания. Первая из них, которую можно назвать аналитической, заключается в сведении изучаемых нами сложных явлений к простым и, далее, в нахождении наиболее простых и вместе с тем возможно более общих закономерностей природы. Например, разнообразие планетных движений и их возмущений удалось свести к закону тяготения Ньютона. Многие свойства вещества находят объяснение на основе представления, что во всех трех агрегатных состояниях вещества—твердом, жидком и газообразном—оно состоит из молекул и атомов. Сложнейшая структура атомных и молекулярных спектров была описана исходя из относительно простых и общих законов квантовой механики. Все разнообразие химических соединений удалось свести всего лишь к сотне с небольшим элементов периодической системы Менделеева. Таким образом, аналитический метод одерживал победу за победой (иногда заставляя нас, естествоиспытателей, думать о нем как о единственном подлинно научном методе познания природы).

Но блестящие успехи естествознания за последнее столетие часто являлись также результатом применения синтетического метода, возникшего из тенденции выводить закономерности сложных явлений на основе знания элементарных

(часто называемых фундаментальными) законов природы (простейшим примером может служить создание кинетической теории газов). Совершенно очевидно, что рассмотрение поведения отдельной молекулы не позволяет вывести законы идеальных газов, тогда как статистическое рассмотрение ансамбля молекул дает возможность построить кинетическую теорию не только идеальных, но и реальных газов. При этом в ансамбле из большого числа частиц появляются новые свойства как следствие не только свойств отдельной молекулы, но в значительно большей степени статистических закономерностей, присущих только ансамблю частиц (диффузия, теплопроводность и др.). На этом простом примере мы видим, что системе присущи закономерности, качественно отличные от тех, которыми обладает каждый ее элемент в отдельности. Еще более поразительны свойства тел с упорядоченным расположением частиц, например, явления проводимости, сверхпроводимости, ферромагнетизма. И было бы неверно считать, что исследования на основе синтетического метода—не наука, а так сказать, уже ее приложения. Очень важна роль синтетического метода в астрономии. Теория переноса излучения в газовых туманностях, теория внутреннего строения звезд, теория звездных систем—примеры подобного синтеза. Выясняется, что астрономии необходим не только теоретический синтез систем, состоящих из атомов, но и синтез, например, нейтронных и гиперонных конфигураций звездных масс, т. е. конфигураций, состоящих из элементарных частиц [6].

Если в астрономии синтез производится теоретически и преследует цель глубже понять изучаемый космический объект, то в лабораторной физике, химии, биологии наряду с теоретическим синтезом большую роль играет экспериментальная реализация сложных систем, как предварительно рассмотренных теоретически, так и построенных методом проб и ошибок.

Чем выше уровень организации систем, тем в большей степени на первый план выдвигаются взаимосвязь и взаимодействие ее элементов. У системы появляются все более сложные качества, закономерности которых могут оказаться настолько для нее существенными, что элементарные законы, которым подчиняются отдельные части этой системы, начинают играть лишь подчиненную роль. В этом смысле биологические системы должны рассматриваться как результат

естественного синтеза, ведущего к появлению новых свойств, по сравнению с которыми первоначальные физико-химические свойства их элементов кажутся тривиальными; смешно «сводить» живые организмы к простой сумме составляющих ее элементов (разумеется, многие менее существенные свойства живых организмов могут получиться именно путем простого суммирования; например, вес организма равен сумме весов его элементов и т. д.).

Синтетические тенденции в развитии естествознания оказали огромное влияние на современную технику. Атомные котлы, полупроводники, тонкий химический синтез—все это примеры возникновения в результате научных открытий целых направлений новой техники. Можно упомянуть и такие факты, когда области науки, созданные на основе синтетического метода, получают широкое применение в технике и продолжают свое дальнейшее развитие в рамках науки (например, создание лазеров и мазеров). Вероятно, такое же положение еще надолго сохранится в области синтеза белка.

Подобно тому, как аналитический метод, несмотря на все свои успехи, не привел и не может привести к установлению каких-то «окончательных» и «самых общих» законов элементарных явлений, так и успехи синтетического метода при всем его могуществе и значении для самых разных областей естествознания не дают оснований считать, что мы находимся на пороге синтеза «окончательной» (хотя бы в самых основных чертах) единой естественнонаучной картины мира, в которой остались только мелкие «недоделки», в частности в области физики высоких энергий. Подобные взгляды, высказываемые время от времени довольно многими естествоиспытателями, представляются такими же наивными, как и гордая уверенность физиков конца XIX в. в том, что на долю потомков в их науке не останется почти ничего существенного. Лорд Кельвин был одним из очень немногих, заметивших на небосводе классической физики два «маленьких» облачка: «ультрафиолетовую катастрофу» в теории излучения и отрицательный результат опыта Майкельсона при попытке обнаружить скорость Земли относительно эфира. Но из двух «облачков» родились такие научные исполины, как квантовая механика и теория относительности! В наши дни аналогичное положение сложилось в астрономии.

Занимаясь теоретическим синтезом звездных систем, состоящих из большого числа звезд, астрономы смогли понять многие свойства звездных групп, скоплений и галактик. Еще в конце 40-х гг. казалось, что ядра галактик также состоят из одних только звезд.

Однако наблюдения показали, что явления в ядрах галактик—прежде всего происходящие в них грандиозные взрывы, по сравнению с которыми взрывы Сверхновых, считавшиеся до тех пор самыми мощными процессами выделения энергии в природе, кажутся детскими игрушками,—нельзя объяснить, если считать их совокупностями звезд. Оказалось, что в состав по крайней мере некоторых ядер галактик входят отличные от звезд сверхмассивные тела, способные к таким взрывам. В настоящее время есть все основания допустить, что процессы, обуславливающие эти взрывы, вряд ли смогут быть описаны в рамках известных физических законов. То же самое следует сказать и о процессах выделения энергии в квазарах.

Те физики, которые считают, что известные сейчас фундаментальные физические теории достаточны для описания всего многообразия явлений во Вселенной, сначала с недоверием отнеслись к фактам, свидетельствующим о громадных запасах энергии в ядрах многих галактик, а когда такие факты были установлены вполне надежно, пытались объяснить их с точки зрения известных физических представлений, например, на основе механизма гравитационного коллапса. Но, поскольку новые исследования показывают, что этим ничего добиться нельзя, постольку их точка зрения об универсальности фундаментальных теорий современной физики буквально повисает в воздухе. Здесь уместно вспомнить глубокую мысль Гейзенберга: «...Переход точных, естественных наук от ранее исследованных областей опыта к новым областям никогда не будет означать простого применения уже известных законов к этим новым областям. Наоборот, действительно новые области опыта всегда будут вести к возникновению новых систем научных понятий и законов, не хуже старых, поддающихся рациональному анализу, но обладающих существенно отличной природой» [7].

С нашей точки зрения, идея о том, что бесконечное число явлений природы может быть понято на основании ограниченного числа фундаментальных законов и теорий, является

недостаточной. Природа бесконечна в своем многообразии даже в отношении уровня законов, т. е. какие бы общие и «окончательные» законы, описывающие фундаментальные свойства материи, мы ни установили, они всегда в принципе имеют лишь ограниченную область применимости. Следовательно, любая единая естественнонаучная картина мира представляет собой лишь относительно заверченный теоретический синтез знаний и по мере дальнейшего исследования природы будет сменяться новыми, но всегда лишь относительно завершенными «единицами картин мира» все большей степени общности и точности.

### ПРОБЛЕМА РАЗВИТИЯ В СОВРЕМЕННОМ ЕСТЕСТВОЗНАНИИ

Идея развития пробила себе дорогу в естествознании уже в конце XVIII в. Мы имеем в виду знаменитую космогоническую гипотезу Лапласа, историческое значение которой трудно переоценить. Однако конкретная форма идеи развития в естествознании того времени—форма механистического эволюционизма—была еще крайне несовершенна. Кроме того, многие естествоиспытатели, быть может бессознательно находясь под сильным влиянием примеров циклической (периодической) смены хорошо известных явлений (дня и ночи, времен года, сезонных изменений в природе и т. д.), рассматривали развитие как механический круговорот, в котором происходит интеграция систем из некоторых «простейших» элементов и последующий распад их на эти элементы, причем каждый цикл развития завершается возвращением к исходному пункту. Правда, дальнейшее проникновение идеи развития в естественные науки все больше подрывало как механистический эволюционизм (огромное значение здесь имела теория Дарвина и впоследствии теории мутаций), так и представление о механическом круговороте (открытие принципа возрастания энтропии и его применение к все возрастающему числу все более разнообразных систем).

Все же в некоторых областях естествознания механистический эволюционизм находил себе убежище вплоть до конца первой трети XX в., например, в астрономии, где ряд специфических трудностей изучения космогонических процес-

сов и отсутствие достаточного количества эмпирических данных приводили к появлению великого множества необоснованных, часто лишенных эвристической ценности «космогонических гипотез». В этих гипотезах принималось, что все состояния небесных объектов почти стационарны, так что их эволюция состоит в плавном, крайне медленном переходе от одного стационарного состояния к другому.

В соответствии с традицией, восходящей к космогоническим гипотезам XVIII—XIX вв., считалось, что все небесные тела возникли из некогда существовавшей протяженной туманности. В нашей Галактике мы не наблюдали очень больших масс диффузной материи, подавляющая часть ее вещества сосредоточена в звездах; этот факт означал, что процесс образования звезд Галактики завершился в какую-то отдаленную эпоху, причем Галактика в ее современном состоянии не переживает сколько-нибудь быстрого, доступного наблюдениям развития.

Однако при изучении эволюции того или иного объекта особенно важно исходить не из априорных допущений, а из анализа свойств данного объекта, выведенных на основе обобщения наблюдаемых данных, поскольку каждому уровню материального мира соответствуют не только свои собственные структурные, но и отличные от других уровней эволюционные закономерности.

Ясно также, что закономерности развития объекта на любом структурном уровне организации материи могут быть обусловлены такими факторами, которые мало заметны при рассмотрении стационарных, равновесных состояний объекта. Значит, особое внимание следует обратить на поиски и изучение нестационарных, неравновесных состояний различных объектов, тем более что уже сравнительно давно астрономия открыла много типов космических тел, в которых происходят относительно быстрые изменения, иногда носящие катастрофический характер.

Исследования, основанные на систематическом применении такого подхода, были начаты впервые в 30-х гг. в Ленинградском университете и продолжаются сейчас в Бюраканской обсерватории. Они привели к формулировке новых представлений о темпах и путях развития многих типов звезд и звездных систем.



Анализ наблюдательных данных относительно стационарности или нестационарности звезд и звездных групп, входящих в Галактику, показал, что наша Галактика в противоположность общепринятым ранее представлениям, является системой, в которой происходят бурные и подчас весьма быстрые изменения.

Применение принципов звездной динамики к открытым звездным скоплениям привело к выводу, что, даже если такие скопления находятся в «стационарном» состоянии, в результате взаимодействия звезд они должны как бы «испаряться». В результате этого процесса многие скопления должны будут исчезнуть за несколько сотен миллионов лет, а некоторые из них—даже в течение немногих десятков миллионов лет.

Такому же анализу была подвергнута совокупность визуально-двойных звезд Галактики. Выяснилось, что процессы распада звездных пар, происходящие вследствие их встреч со звездами окружающего поля, доминируют над процессами возникновения новых пар при случайных сближениях звезд.

Количество одиночных звезд в общем звездном поле Галактики постоянно растет за счет распада скоплений и визуально-двойных звезд, причем этот процесс идет только в одном направлении. Таким образом, распад и рассеяние (в полном соответствии со вторым началом термодинамики) характеризуют общую направленность процессов в нашей Галактике и, как оказалось впоследствии, также в других галактиках.

В этих работах также было сформулировано понятие «короткая шкала» возраста Галактики и образующих ее звезд [8]. Согласно «долгой шкале», принятой в начале 30-х гг., предполагалось, что возраст звезд Галактики составляет  $10^{12}$ — $10^{13}$  лет. Но открытие неизбежного распада звездных групп и скоплений за сравнительно короткие сроки свидетельствовало, что Галактика в ее современном состоянии не может иметь возраст, превосходящий (по порядку величины)  $10^9$ — $10^{10}$  лет.

В 30—40-х гг. были получены новые важные данные о направленности процессов в звездных системах и о возрастах звезд в Галактике.

Факты доказывали, что возникновение туманностей из звезд—довольно распространенное явление. Наоборот, мы не знаем пока ни одного случая, когда из диффузной материи возникал бы плотный объект, хотя такие переходы, допускавшиеся в старых космогонических гипотезах, допускаются и во многих распространенных до сих пор космогонических теориях.

Здесь история науки столкнулась со случаем, когда подавляющее большинство ученых искали (а частично и сейчас еще ищут) факты, доказывающие, что эволюция в космосе идет в сторону конденсации небесных тел из разреженного вещества. Между тем наблюдения над природой открывали все новые и новые процессы рассеяния при трансформациях космических тел. Получается, что естествоиспытателям не удалось навязать природе свои правила и представления. Наоборот, природа, существующая независимо от сознания, навязала ученым признание существующих в ней истинных закономерностей.

В результате работ бюраканских астрономов в конце 40-х гг. было установлено существование нового типа звездных систем—звездных ассоциаций\*—недавно возникших групп звезд, распадающихся непосредственно после своего рождения. Эти системы в своем большинстве оказались нестационарными в полном смысле слова, поскольку входящие в них звезды быстро удаляются друг от друга. Тем самым оказалась нестационарной и наша Галактика, поскольку процесс возникновения новых звезд (в виде звездных ассоциаций) продолжается в ней и в современную эпоху.

Это открытие—сильный аргумент в пользу представления о рассеянии вещества из первоначальных малых объемов как важнейшей части процесса космической эволюции. Вместе с тем наблюдения по-прежнему не давали никаких указаний относительно возможности перехода из диффузного состояния в более плотное состояние.

Дальнейшие исследования, особенно в области внегалактической астрономии, привели к обнаружению многочисленных новых свидетельств в пользу того, что во Вселенной процессы развития связаны с рассеянием вещества, т. е. с

---

\* О звездных ассоциациях и эволюции звезд см. первый и третий доклады во втором разделе настоящего сборника.

переходом от более плотного вещества к менее плотному, в противовес устаревшим взглядам о сгущении космических тел из разреженной материи.

В 50-х гг. было показано существование значительного процента явно нестационарных групп и систем также среди галактик, их групп и скоплений. Для очень многих групп и скоплений галактик была обнаружена большая дисперсия скоростей, что свидетельствует о неустойчивости соответствующих групп. Для объяснения этого явления было выдвинуто следующее представление: галактики каждого скопления с момента его возникновения получили столь большие скорости, что силы взаимного притяжения недостаточны для сохранения скопления как системы. Более того, оказалось, что среди кратных галактик процент неустойчивых систем типа Трапеции во много раз выше, чем среди кратных звезд. Иными словами, вместо отдельных проявлений нестационарности мы наблюдаем повсеместные процессы распада скоплений и групп галактик.

Новые возможности изучения нестационарных явлений в галактиках дало открытие радиогалактик, которые являются резко нестационарными объектами и могут испускать радиоизлучение лишь в течение коротких промежутков времени. Хотя длительность периода радиоизлучения измеряется миллионами лет, все же этот срок мал по сравнению с возрастом галактик, т. е. радиогалактики—краткая, преходящая фаза эволюции галактик [9]\*.

Именно изучение радиогалактик привело к обоснованию идеи о гигантских взрывных процессах, происходящих в ядрах галактик. Если тот период в жизни галактики, когда она испускает интенсивное радиоизлучение, назвать радиовспышкой галактики, то, как было показано, эта радиовспышка является результатом гигантского взрыва в ее ядре. Представление о взрывах в ядрах галактик встретило сначала огромное сопротивление тех астрономов, которые продолжали считать, что космическая эволюция заключается прежде всего в концентрации диффузного вещества. В противовес представлению о взрывах была предложена и приобрела широкую популярность ни на чем не основанная

---

\* См. подробнее в статье «Об эволюции галактик» (стр. 289 настоящего сборника).

гипотеза о том, что радиовспышки происходят от столкновения галактик. Понадобилось почти десять лет, чтобы эта необоснованная и неплодотворная гипотеза потеряла всякий научный кредит. Однако даже для сторонников представления о взрывах в ядрах галактик оказались неожиданными те прямые подтверждения, которые это представление получило уже в начале 60-х гг., когда был открыт взрыв, происшедший всего 1,5 миллиона лет назад в ядре галактики М82, и изучены движения в околядерных областях так называемых сейфертовских галактик. Тем самым было обосновано введенное несколько ранее понятие *космогонической активности* ядер галактик. Дальнейшим подтверждением этих идей явилось открытие квазизвездных радиоисточников (квазаров).

При изучении нестационарных процессов в ядрах галактик и квазизвездных объектах мы имеем дело с изучением концентрации огромных масс в относительно малых объемах. Речь идет о массах порядка  $10^{10}$  (а иногда даже более) солнечных масс, сосредоточенных в объемах, во много раз меньших, чем объем какого-либо звездного скопления. Речь идет о превращениях вещества, при которых плотность меняется в миллиарды раз, а напряженность гравитационного поля может достигать неслыханных величин. Как уже говорилось, нет и не может быть никакой гарантии, что известные нам законы физики соблюдаются и в этих условиях. И совсем не удивительно поэтому, если окажется, что имеющиеся сейчас большие трудности теоретического истолкования ряда нестационарных процессов могут перерасти с течением времени в прямое противоречие с известными нам законами теоретической физики. Попытки математической формулировки части таких процессов были впервые сделаны Иорданом [10]. Он считал, что его построения относятся к происхождению звезд. На самом деле они, вероятно, более применимы к вопросу о происхождении галактик.

Итак, хотя длительность космогонических процессов в большинстве случаев велика по сравнению с периодом астрономических наблюдений, в жизни космических тел и их систем есть и такие этапы, когда в них возникают в ходе самого процесса развития новые силы, коренным образом меняющие их состояние. Быстрота происходящих при этом изменений создает возможность либо наблюдать эти изменения непосредственно (вспышки Новых, Сверхновых и т. д.),

либо делать выводы о них на основе очень ясных косвенных данных (распад открытых звездных скоплений и звездных ассоциаций, взрывы в ядрах галактик).

Стоит отметить любопытный с точки зрения истории науки факт: те астрономы, которые не понимали роли нестационарных объектов в космической эволюции, обычно бывали склонны закрывать глаза на трудности, связанные с их истолкованием, рассматривая их как каких-то «уродов», выходящих за рамки общих закономерностей развития.

Однако правильной оказалась противоположная точка зрения, исходящая из того, что нестационарные процессы представляют собой закономерные фазы космической эволюции, хотя в каждый данный момент процент космических объектов, переживающих поворотную эпоху развития, обычно мал и во всяком случае гораздо меньше, чем процент объектов, находящихся в стационарном состоянии (например, число звезд в ассоциациях мало по сравнению с числом звезд в общем поле Галактики).

Нестационарные состояния обычно являются поворотным пунктом в развитии объекта, связанным с рождением новых тел (например, звездные ассоциации) или с переходом объекта из одного класса в другой (например, вспышки Сверхновых, приводящие к превращению звезды в туманность).

Следовательно, подробное изучение нестационарных или переходных явлений открыло путь для более полного понимания эволюции космических объектов\*. В самом деле, до середины 30-х гг., когда были получены первые важные данные относительно нестационарных объектов, эволюционные идеи не играли в астрофизике существенной роли, хотя большинство астрофизиков прекрасно понимали, что они имеют дело с изменяющимися, развивающимися объектами. И если сегодня вся астрофизика оказалась буквально пронизанной идеей эволюции звезд, звездных скоплений и галактик, то это, несомненно, явилось результатом большого внимания к изучению нестационарных объектов во Вселенной.

---

\* О нестационарных космических объектах и их значении для проблемы происхождения и эволюции небесных тел см. во втором разделе настоящего сборника.

Современная космогония свидетельствует о том, что процессам развития космических объектов свойственна их необратимость. Циклические изменения в них если и происходят, то лишь как элементы общего необратимого изменения структуры этих объектов. В сущности, когда в естествознании говорят о развитии той или иной системы, то всегда имеют в виду именно необратимое изменение ее структуры, в ряде важных, но частных случаев принимающее форму прогресса и регресса [11].

Итак, революция в естествознании XX в. сделала актуальными среди других и такие философские вопросы, как проблема субъекта и объекта познания, проблема построения единой естественнонаучной картины мира (включающая вопрос о степени общности и границах применимости фундаментальных законов и теорий современной физики), проблема развития. Выводы из анализа этих проблем находятся в соответствии с основными положениями диалектического материализма. Факт остается фактом: многим естествоиспытателям, к числу которых я отношу и самого себя, философия диалектического материализма помогала и помогает в осмыслении ряда трудных проблем. Конечно, эта философия не представляет собой какой-то догмы или универсального рецепта на все случаи жизни. Она является определенным способом мышления, который может привести к интересным и плодотворным результатам. Вот почему я присоединяюсь к тем авторам, которые считают необходимым тесное сотрудничество философов и естествоиспытателей в решении принципиальных проблем наук о природе.

В заключение доклада я должен выразить глубокую благодарность кандидату философских наук В. В. Казютинскому, который принял самое деятельное участие в его составлении. Если доклад представляется только от моего имени, то лишь потому, что за высказанные в нем взгляды в конечном счете должен отвечать я.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А. Эйнштейн, Собрание научных трудов, т. 4, М., 1967, стр. 181.
2. Н. Бор, Атомная физика и человеческое познание. М., 1961.
3. К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, стр. 84.

4. В. Гейзенберг, Квантовая теория и ее интерпретация. В сб. «Нильс Бор. Жизнь и творчество». М., 1967, стр. 6.
5. В. А. Фок, Замечания к статье Бора о его дискуссиях с Эйнштейном. «Успехи физических наук», 1958, т. 66, вып. 4.
6. J. R. Oppenheimer and G. M. Volkoff, On massive neutron cores, Physical Review, 1939, Vol. 55, No. 3; В. А. Амбарцумян, Г. С. Саакян, О вырожденном сверхплотном газе элементарных частиц. «Астрономический журнал», 1960, т. 37, вып. 2.
7. В. Гейзенберг, Философские проблемы атомной физики. М., 1953, стр. 17.
8. В. А. Амбарцумян, Космогония и современная астрофизика, Научные труды, т. 2, Ереван, 1960.
9. В. А. Амбарцумян, Об эволюции галактик, Научные труды, Ереван, т. 2.
10. P. Jordan, Schwerkraft und Weltall, Braunschweig, 1955.
11. В. В. Казютинский, Философское значение достижений современной космогонии. В сб. «Логика и методология науки», М., 1967.

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ АСТРОФИЗИКИ\*

Древнейшая из наук—астрономия за последние десятилетия достигла огромных успехов. Сегодня она принадлежит к числу наиболее быстро развивающихся областей естествознания.

Бурный прогресс астрономии вызвал существенную ломку многих привычных и казавшихся «незыблемыми» представлений, их замену представлениями неожиданными, непривычными и зачастую основанными на радикально новых идеях. Появляются все более веские основания утверждать, что в современной астрономии началась новая, грандиозная революция. По своим масштабам и последствиям она, возможно, не уступает первой революции в науке о Вселенной, по праву связываемой прежде всего с именем гениального польского ученого Н. Коперника, 500-летие со дня рождения которого отмечает в этом году все человечество.

Каждая революция в естествознании (или в какой-либо из естественных наук), как известно, всегда приводит не только к расширению, уточнению, углублению тех или иных представлений о природе, но и к изменениям в принципах понимания и объяснения природы (или отдельных ее областей), иными словами, к изменениям в способе видения мира. Чем больше масштабы такой революции, тем значительнее изменения философского, методологического порядка, которые она вызывает.

Коперниковская революция в астрономии сопровождалась постановкой коренных философских проблем, без решения которых победа новых взглядов на Вселенную была

---

\* Соавтор—В. В. Казютинский. Доклад на Совещании по философским проблемам современной астрономии, посвященном 500-летию со дня рождения Николая Коперника (Москва, декабрь, 1973 г.). Печатается по тексту журнала «Вопросы философии», № 3, 1973, стр. 91—102.



бы заведомо невозможной. Ряд фундаментальных философских проблем поставила и современная революция в астрономии. В частности, на протяжении последних десятилетий (особенно в самые последние годы) большую актуальность приобрели методологические проблемы астрофизики, изучающей физическую природу, происхождение и эволюцию небесных объектов. Какими путями следует вести изучение различных астрофизических явлений? В чем состоят общие идеи, принципы, приемы и что является специфическим в решаемой астрофизиком конкретной задаче? Насколько адекватны объективной реальности различные астрофизические теории и концепции? Каковы основные тенденции и перспективы развития современной астрофизики? Эти вопросы обсуждаются сейчас все чаще. В их решении особенно ярко проявилась роль материалистической диалектики как общего способа движения к новому знанию.

#### НОВЫЕ ОТКРЫТИЯ В АСТРОФИЗИКЕ

В прошлом наблюдения Вселенной велись с помощью оптических телескопов небольших и средних размеров; теоретической основой для истолкования наблюдений была классическая физика. В XX веке в средствах изучения Вселенной происходят огромные изменения. Был построен ряд крупных оптических телескопов, появились принципиально новые методы исследования—такие, как радиоастрономия, рентгеновская и инфракрасная астрономия, особенно ценные потому, что они позволяют получить более богатую информацию относительно нестационарных процессов во Вселенной. Стали возможны физические эксперименты в космосе, непосредственное исследование многих тел солнечной системы и межпланетного пространства. Возможности теоретического осмысления результатов наблюдений необычайно расширились в связи с созданием новых фундаментальных физических теорий—специальной и общей теории относительности, квантовой механики, а также с успехами физики элементарных частиц.

Физика элементарных частиц, которая, по существу, является физикой элементарных взаимодействий, в процессе своего развития переходила от взаимодействий малой мощности ко все более мощным взаимодействиям. Параллельно

этому и в астрофизике совершается переход от процессов, связанных с относительно слабыми энергетическими превращениями, к процессам, связанным с превращениями (иногда очень быстрыми) все больших количеств энергии. Между этими двумя тенденциями в развитии различных областей физических наук существует тесная связь.

Новые эмпирические и теоретические методы исследования, появившиеся в современной астрономии, прежде всего необычайно расширили границы охваченной наблюдениями области Вселенной. Была получена обильная информация о Метагалактике, включающей десятки миллиардов звездных систем, подобных нашей Галактике, и, как выяснилось позднее, также внегалактические объекты иного типа. Бурный прогресс астрофизики привел к накоплению колоссальной по своему объему информации о *физической природе* небесных объектов и происходящих во Вселенной *процессах*. Выяснилось, что природа космических тел и систем в современном состоянии не может быть понята вне изучения их происхождения и развития. Тем самым космогоническая проблема стала основной задачей современной астрофизики.

Наиболее важная черта революционных изменений в системе знаний о Вселенной заключается в том, что вопреки прежним взглядам многие фазы процессов развития во Вселенной весьма быстротечны и носят характер взрыва, дезинтеграции, рассеяния. В то же время построение теорий нестационарных явлений во Вселенной в рамках традиционных представлений сталкивается с рядом серьезных трудностей.

Революция в системе знаний о Вселенной началась с коренных изменений взглядов на структуру и эволюцию Вселенной в больших масштабах—с открытия проявлений нестационарности Метагалактики и разработки соответствующих теорий, которые произвели не меньший, а, может быть, даже больший эффект, чем в свое время, например, открытие радиоактивности. Но это был лишь первый впечатляющий «сюрприз», который преподнесло нам изучение Вселенной. Дальнейшие исследования показали, что Вселенная является не только расширяющейся, но и буквально «взрывающейся». Это привело к развертыванию и углублению революции в астрономии.

В нашей солнечной системе происходят такие нестационарные процессы, как распад короткопериодических комет

и других малых тел. Получены также хотя и косвенные, но веские аргументы, подтверждающие, что на поверхностях планет и некоторых спутников происходили мощные вулканические процессы. Результаты исследований Луны, Марса и Венеры с помощью экспериментальных методов делают эти аргументы все более убедительными.

Выяснилось, что многие звездные группы и скопления, входящие в состав Галактики, должны распадаться за сравнительно короткие (по космическим масштабам) сроки. Развитие исследований в этом направлении привело к открытию в 1947 году звездных ассоциаций—недавно возникших групп звезд, во многих случаях нестационарных в полном смысле слова: входящие в них звезды быстро удаляются друг от друга. Нестационарными оказались и многие структурные элементы звездных ассоциаций (системы типа Трапеции, звездные цепочки). Такое открытие было качественно новым для астрономии, которая до тех пор всегда имела дело со стационарными или квазистационарными звездными группировками.

Довольно неожиданно в последние годы обнаружилось, что многие карликовые звезды ассоциаций время от времени претерпевают сильные «вспышки». В дальнейшем «вспыхивающие» переменные были обнаружены, помимо ассоциаций, также в других звездных группах и скоплениях. Большое значение имело открытие в 1968 г. пульсаров. Но особенно грандиозные явления нестационарности были открыты в мире галактик.

В 50-х годах было доказано существование значительного количества нестационарных групп и скоплений галактик. Оказалось, что вместо отдельных проявлений нестационарности мы наблюдаем почти повсеместные процессы распада скоплений и групп галактик.

Дальнейшие исследования привели к открытию гигантских взрывных процессов в ядрах галактик, что позволило ввести понятие о *космогонической активности ядер*.

В настоящее время известно уже много разнообразных форм этой активности.

При взрывах в ядрах галактик выделяется колоссальная энергия:  $10^{59}$ — $10^{60}$  эрг. Еще более фантастические количества энергии выделяются в квазизвездных радиоисточниках (квазарах), открытых в 1963 году американскими астрофизиками

М. Шмидтом, Дж. Гринстейном и Т. Мэтьюсом. В квазарах наблюдаются необычайно бурные процессы—быстрые колебания их яркости, выбросы струй огромных масс газа и др. В 1965 г. были открыты и такие квазизвездные источники, которые не дают заметного радиоизлучения. Таким образом, помимо звезд, считавшихся еще недавно основной формой существования вещества во Вселенной, обнаружены качественно новые, не известные ранее типы небесных тел—активные ядра и квазизвездные объекты. В них сосредоточены мощнейшие, поистине «дикивинные» источники энергии.

В 1965 году американские радиофизики А. Пензиас, Р. Вилсон и другие сделали еще одно важное открытие. Было обнаружено приходящее из глубин Метагалактики микроволновое радиоизлучение, которое предсказал Г. Гамов, исходя из созданной им теории «горячей Вселенной». Эта теория основана на дальнейшем развитии идеи «большого взрыва», высказанной бельгийским астрономом Ж. Лемэтром.

За последние годы, благодаря применению новых методов исследования, во Вселенной обнаружены и такие «экзотические» объекты, как «рентгеновские звезды» и другие. Несомненно, мы находимся на пороге новых выдающихся открытий, которые наверняка окажутся еще более необычными, чем все известные до сих пор.

Итак, «кунсткамера» астрофизического знания непрерывно пополняется все новыми удивительными объектами, задающими теоретикам все более трудные загадки.

Явления нестационарности во Вселенной обнаруживаются со все возрастающей четкостью при переходе от звездных агрегатов к галактикам, их группам и скоплениям и, наконец, к Метагалактике. Иначе говоря, имеет место целая *иерархия процессов взрыва, дезинтеграции, распада*.

## ДВА НАПРАВЛЕНИЯ В АСТРОФИЗИКЕ

В теоретическом истолковании астрофизических явлений можно выделить два главных направления. Основанные на некоторых различиях в теоретико-познавательных предпосылках, они приводят к выбору различных путей построения теории. Это в конечном счете обусловило разработку различных теоретических представлений об эволюции космических объектов.

К сожалению, для этих направлений трудно подобрать сколько-нибудь подходящие названия. За отсутствием более удачных мы будем употреблять термины: «бюраканское» и «ортодоксальное (классическое)» направления,—не забывая об их условности и некоторой претенциозности первого.

Оба методологических направления развиваются в астрофизике наших дней, что является по-своему оправданным (так сказать, «законным»). Но отсюда, конечно, еще вовсе не вытекает, что оба направления во всех отношениях одинаково эффективны. Плодотворность методологических принципов каждого из направлений должна быть проверена практически—на основе анализа конкретных результатов, которые оно позволило получить.

*Методологические принципы бюраканского направления* могут быть суммированы так. Необходимо отказаться от умозрительного подхода к решению задач астрофизики. Для этого умозрительного подхода, получившего значительное распространение особенно в 30-е годы, характерны увлечение математическими задачами, возникающими при решении того или иного вопроса, и отсутствие практического рассмотрения основных физических допущений, исходя из которых строится астрофизическая теория. Такой формальный подход, при котором сначала строятся математические модели различных астрофизических объектов, затем эти модели сравниваются с наблюдениями и выбирается та, которая похожа на реально существующие объекты, в большинстве случаев не может служить достаточно эффективной основой для получения плодотворных результатов (в этой области исследования).

Новые, качественно своеобразные свойства космических объектов, как правило, трудно установить чисто теоретически—они могут быть выявлены чаще всего на основе наблюдений, построение моделей и теорий структуры и эволюции космических объектов следует осуществлять на основе *последовательного обобщения* эмпирических данных. Это означает следующее.

В условиях невозможности прямого эксперимента исследование какого-либо астрофизического явления должно распадаться на три последовательные стадии: 1) наблюдение; 2) интерпретация наблюдения—выявление того, что

именно происходит в наблюдаемом объекте; 3) построение полной теории явления, включающей объяснение его причин. Попытка перескочить через одну из таких стадий (скажем, строить теорию явления, не дожидаясь прояснения его внешней картины) в астрофизике, как правило, не может привести к успеху.

Исследования структуры и эволюции звезд и звездных систем должны начинаться с постановки отдельных частных задач, решение которых не требует введения сколько-нибудь произвольных допущений. Например, подробное изучение отдельных изменений создает предпосылки для решения более общей задачи—изучения эволюции системы как целого и построения обоснованной теории этого процесса.

Конечно, признание важности эмпирических данных в синтезе нового знания о Вселенной отнюдь не дает основания умалять или недооценивать ту роль, которую играют в этом процессе различные уровни теоретического знания. Если в одних проблемных ситуациях решающим оказывается тщательный и всесторонний анализ эмпирических данных, то в других—развитие новых теорий возможно даже без привлечения дополнительных фактов, то есть имеет место как бы внутреннее развитие (астрофизической или физической теории). Например, в квантовой физике уравнение Дирака было получено путем уточнения уравнения Шредингера на основе требования релятивистской инвариантности и некоторых других теоретических принципов. Новая, более правильная нелинейная теория цефеид возникла не потому, что после создания предшествующей ей линейной теории пульсаций появились дополнительные эмпирические данные (хотя за этот период времени были установлены многие важные факты), а потому, что к теории были предъявлены более строгие требования, а также был критически пересмотрен вопрос, соответствовала ли линейная теория уже известным во время ее построения наблюдательным данным.

Более того, обобщение фактических данных вовсе не представляет собой какой-то чисто индуктивный процесс. В подавляющем большинстве случаев логика построения теории не сводится лишь к движению в направлении: от наблюдения к теории, а включает всесторонний анализ эмпирических данных, построение и разбор различных гипотетических вариантов их объяснения, сравнение этих гипотез с наблюде-

ниями, а также между собой. Это возможно лишь на основе использования не только индуктивных, но и дедуктивных приемов рассуждения, которые могут причудливо переплетаться между собой. Однако в целом решение какой-либо астрофизической задачи в конечном счете всегда направлено на то, чтобы дать истолкование и объяснение определенной совокупности фактов, включить их органически в систему знания. Вот почему можно утверждать, что астрофизические теории (как и все научные теории) представляют собой *обобщение* эмпирических данных. Формы обобщения могут быть, естественно, очень разнообразными.

Не весь колоссальный фактический материал о звездах и звездных системах, накопленный современной астрофизикой, может быть сразу использован для разработки теорий их структуры и эволюции; кроме того, не все эти данные имеют одинаковую ценность. Какие же факты особенно важны?

Если говорить о решении проблем космогонического характера, то особое значение имеют те эмпирические данные, в которых «следы» эволюционных процессов проявляются с наибольшей отчетливостью. К ним относятся прежде всего факты о нестационарных объектах. Их значение для понимания процессов космической эволюции было подсказано диалектической концепцией развития, а именно положением о внутренних противоречиях как источнике развития, которое помогает понять значение нестационарных объектов как *закономерных фаз* космической эволюции. Эти объекты представляют собой *поворотные пункты* в развитии космических тел и систем, связанные с переходом из одного состояния в другое или, как выяснилось позднее, также с рождением новых тел. Мы можем непосредственно наблюдать процессы изменения их состояния. Следовательно, они заслуживают особенного внимания. Дальнейшие исследования позволили предсказать многие явления нестационарности во Вселенной, включая те, открытие которых воспринималось большинством астрофизиков как полнейшая неожиданность.

Анализируя неожиданные результаты астрофизических наблюдений (а теперь и экспериментов), необходимо сосредоточивать внимание на возможных трудностях их объяснения на основе существующих представлений, чтобы выяснить, не сталкиваемся ли мы с качественно новыми явлениями; их

можно рассматривать как обусловленные не известными нам физическими законами и фундаментальными теориями еще до того, как исчерпаны все возможности их объяснения в рамках известных законов и теорий.

Дело в том, что ни при какой степени изученности какого-либо астрофизического явления, которое не удалось объяснить в рамках известных законов физики, нет полной гарантии, что все возможности получить такое объяснение нами уже исчерпаны. Между тем, на каком-то этапе исследования может оказаться плодотворным предположение, что исследуемое явление объясняется лишь на основе других неизвестных нам законов. Это предположение может быть неправильным или правильным, однако без введения подобных предположений для объяснения неожиданных результатов физических экспериментов и астрофизических наблюдений прогресс в области выявления принципиально новых, более глубоких свойств материи, несомненно, остановился бы. К такому выводу приводит диалектико-материалистическое представление о неисчерпаемости материи, из которого следует, что каждому уровню природы должны соответствовать свои собственные структурные и эволюционные закономерности и что фундаментальные физические теории должны в принципе иметь лишь ограниченную область применимости: мы должны считаться с возможностью (и необходимостью) их уточнения и обобщения по мере изучения все новых областей природы. Значит, хотя известные нам космические объекты состоят из тех же самых частиц, с которыми имеет дело земная физика, в космосе могут приобретать значение такие «интимные» свойства элементарных частиц, которые в земных экспериментах мало заметны или не проявляются вовсе. Именно качественное своеобразие свойств космических объектов и обуславливает в большинстве случаев то, что их возможно установить лишь на основе обобщения физических данных.

Систематическое применение такого подхода к исследованию звезд и звездных систем началось впервые в 30-е годы в Ленинградском госуниверситете и продолжается сейчас в Бюраканской астрофизической обсерватории. Оно позволило получить ряд важных выводов относительно физической природы ряда космических объектов, особенно об их происхождении и развитии.



Прежде всего был установлен ряд важных *эмпирических закономерностей*, которыми характеризуются процессы образования звезд и звездных систем (многие из них были перечислены выше).

Анализ этих эмпирических закономерностей привел к следующей интерпретации некоторых из них, носящей, в основном, пока лишь качественный характер.

1) Звезды и звездные системы не могли возникнуть в результате конденсации разреженного, диффузного вещества. Звездная система, возникшая подобным образом, во всех случаях была бы стационарной, обладала бы отрицательной полной энергией, но это противоречит фактам. Некоторые особенности звездных групп, скоплений и подсистем, а также групп и скоплений галактик можно объяснить без натяжек и противоречий только в том случае, если мы введем следующее предположение: космогонические процессы направлены не от разреженного состояния ко все более плотному, а в прямо противоположном направлении—от более плотных состояний вещества к менее плотным\*.

2) Возникновение галактик со всеми особенностями их структуры—результат *космогонической активности* ядер, вещество которых по своей физической природе отлично от звезд и диффузной материи. Эти плотные или даже сверхплотные тела способны разделяться на части, удаляющиеся друг от друга с большими скоростями, а также выбрасывать массивные сгустки вещества. Для этого в них должны быть заключены в потенциальном состоянии громадные количества энергии. Взрыв ядра приводит к образованию новых галактик или в других случаях—различных звездных подсистем в галактиках. Часть энергии, освободившейся при взрыве ядра, переходит в кинетическую энергию образовавшихся объектов.

Не только пары галактик, но и целые группы, а также скопления галактик образуются в результате взрывов в ядрах. В момент возникновения групп вначале появлялись лишь плотные «зародыши» галактик, образовавшиеся в результате одновременного или последовательного деления массивного плотного тела. Удаляясь друг от друга, каждый

\* См. примечание на стр. 123 настоящего сборника.

из них формировал вокруг себя галактику, становясь ее ядром.

Сами первоначальные массивные тела, которые делятся на «зародыши» галактик, это, возможно, фрагменты того плотного или сверхплотного тела, которым была Метагалактика в начальной фазе своего развития.

3) Объяснение свойств массивных и плотных прототел, а также процесса образования из них звездных систем на основе современных знаний об элементарных частицах и вообще в рамках известных законов физики затруднительно или даже невозможно. Разработка каких-либо теоретических моделей ядер галактик и протозвезд, а также конкретного механизма их превращения в звездные группы, скопления и подсистемы должна базироваться на фактах, полученных непосредственно из наблюдений, и не может вестись на основе предвзятых теоретических допущений. Необходимо сначала собрать как можно больше фактических данных о различных внешних проявлениях свойств дозвездного вещества, изучить их закономерности. Это позволит более надежно выяснить природу ядер галактик и протозвезд, а уж затем построить их модели.

Методологический подход к исследованию солнечной системы, основные принципы которого во многом аналогичны бюраканским, применялся еще в начале 30-х годов профессором С. К. Всехсвятским. Им было, в частности, подчеркнуто решающее значение обобщения эмпирических данных о нестационарных процессах для решения основных проблем солнечной системы и разработана «эруптивная теория», по своему содержанию также примыкающая к бюраканской концепции [1].

*Методологические принципы «ортодоксального» (классического) направления в астрофизике* состоят в следующем. Поскольку весьма широкую применимость в астрофизике известных сейчас фундаментальных физических законов и теорий можно считать доказанной, необходимо стремиться объяснить в рамках этих законов и теорий как можно большую совокупность астрофизических явлений. Эти законы и теории, по-видимому, в принципе достаточны для истолкования структуры и эволюции всех известных нам космических

объектов (за исключением, может быть, самой начальной фазы эволюции Метагалактики).

Как считает большинство сторонников этого направления, вывод о том, что какие-либо открытые астрофизикой явления свидетельствуют о чем-то принципиально новом, правомерен только тогда, когда станет ясно, что все попытки их объяснения на основе известных физических законов оказались неудачными. В связи с этим академик Я. Б. Зельдович писал: «Можно, конечно, на каждое яркое явление придумывать новый закон природы. Однако научное направление, к которому я примыкаю, исходит из необычайной цельности и стройности современной теоретической физики». Значит, «ближайшая задача—описание наблюдаемых явлений на основе установленных законов физики. Это не означает полного запрета на какое бы то ни было принципиально новое открытие, но такое открытие приобретает право на существование, только когда исчерпаны другие возможности объяснения явлений» [2].

Построение теорий структуры и эволюции космических объектов необходимо вести путем разработки моделей, исходя из как можно более правдоподобных предположений: эти модели должны уточняться на основе новых фактов. Не следует дожидаться, пока фактов об изучаемом явлении будет накоплено достаточно (ведь никогда не может быть уверенности в том, что все основные факты нам уже известны). При построении теории вполне допустимо выдвижение не только гипотез, «подсказанных» эмпирическими данными, но и гипотез, которые не имеют сначала наблюдательной опоры и сравниваются с наблюдениями лишь после их подробной теоретической разработки.

Наиболее фундаментальная идея, принимаемая сторонниками «классического» направления—гипотеза об образовании космических тел и их систем из разреженного, диффузного вещества,—восходит к натурфилософским космогониям мыслителей древности. Однако она до сих пор не имеет прямых наблюдательных подтверждений. Много раз создавалось впечатление, что процесс конденсации разреженного вещества в звезды стал наконец эмпирическим фактом. Но каждый раз при дальнейшей проверке соответствующих фактов они оказывались не имеющими прямого отношения к делу. Расчеты моделей звезд и их изменений во времени ведутся в 12—614

предположении, что источник звездной энергии—термоядерные реакции того или иного типа.

С позиций «ортодоксального» направления нестационарные объекты во Вселенной первоначально считались (за небольшими исключениями) некими «выродками», аномалиями, отклонениями от «стандартного» пути космической эволюции. Основное внимание уделялось фактическим данным о стационарных состояниях небесных тел и их систем. Иными словами, это направление исходило сначала совсем из другого фактического материала, чем бюраканское. Однако после того, как выяснилось, что нестационарные объекты представляют собой закономерные фазы космической эволюции, отношение к ним изменилось. Сейчас предпринимаются многочисленные попытки построить модели также и этих объектов.

В рамках «ортодоксального» направления была построена концепция, включающая теорию структуры и эволюции звезд и звездных систем. Она связана в первую очередь с именами выдающихся современных астрофизиков Ф. Хойла (Англия), Я. Оорта (Голландия), М. Шварцшильда (США), а также многих других исследователей. Эта концепция представляет собой попытку раскрыть процессы образования звездных систем и звезд из разреженного газа, их дальнейшую эволюцию, образование химических элементов в звездных недрах. Разработаны также многочисленные варианты объяснения с «классических» позиций структуры и эволюции солнечной системы.

#### КРИТЕРИЙ ПРАКТИКИ В АСТРОФИЗИКЕ

По вполне понятным причинам сторонники различных точек зрения считают, что именно их взгляды подтверждаются (или даже все более подтверждаются) новыми эмпирическими данными, тогда как соперничающие с ними теории соответственно не находят подтверждения (или вступают во все большие противоречия с фактами). Но дело в том, что критерий истинности теорий формулируется по-разному.

В астрофизике, как и в любой науке, критерием истины является практика, которая включает прежде всего сопоставление теории с результатами наблюдений (а в последние годы и экспериментов).

С нашей точки зрения, в астрофизике следует применять критерий практики, распространенный во всех других науках о природе (а в физических науках прежде всего). Именно астрофизические гипотезы, теории, модели должны не только объяснять уже известные явления, но и *предсказывать* новые, еще не известные явления и притом такие, которые не вытекают ни из какой другой гипотезы, теории, модели. Если гипотеза действительно схватывает существенные черты механизма явления (или явлений), для объяснения которого (которых) она была создана, эта гипотеза обязательно будет предсказывать новые явления, не входившие в число тех, на основе которых она строилась, или не известные в момент ее создания, и тем содействовать их открытию, распространяясь с течением времени на новые группы явлений, объяснение которых первоначально не имелось в виду.

Подтверждение предсказаний гипотезы играет особую роль в ее доказательстве, превращении в обоснованную теорию. Конечно, и в этом случае нельзя исключать, что гипотеза в конце концов окажется ошибочной,—в истории естествознания правильные предсказания иногда выводились в качестве следствий и из ложных гипотез (теорий). Тем не менее большинство плодотворных гипотез (теорий) все-таки оказывалось относительно истинными.

В астрофизике, в условиях крайне ограниченных возможностей прямого эксперимента, выведение из различных гипотез новых следствий, предсказывающих ранее неизвестные явления, и проверка их с помощью наблюдения приобретают решающее значение. Ввиду сложности прямой проверки астрофизических гипотез, теорий, моделей, в том случае, когда для объяснения какого-либо явления предлагается несколько гипотез (теорий), необходимо искать такие эмпирические данные, в отношении которых конкурирующие гипотезы (теории) дают противоположные предсказания.

Сторонники же «ортодоксального» направления в астрофизике, не отрицая важности того, чтобы гипотеза, теория, модель предсказывала новые явления, считают все же большим достижением, если теория «согласуется» с фактами или «может быть согласована» с ними. Уже в этом случае теория часто рассматривается как относительная истина, по крайней мере в некоторых своих аспектах. Но такой критерий не может быть признан достаточным. Он позволяет утверждать

лишь, что гипотеза не противоречит известным фактам,—и не более того. Однако в астрофизике часто удавалось путем подгонки и натяжек «согласовать с фактами» весьма различные гипотезы, теории, модели, в том числе и оказывавшиеся впоследствии ошибочными.

Если астрофизическая теория или модель может быть «согласована» с фактами, но не предсказывает новых явлений и для согласования с новыми данными постоянно требует разного рода добавочных или тем более искусственных допущений, это обычно означает, что она не схватывает реального механизма объясняемых явлений.

### СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕОРИЙ СТРУКТУРЫ И ЭВОЛЮЦИИ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Серьезные трудности истолкования нестационарных явлений во Вселенной, качественно отличных от всего, с чем астрофизика имела дело раньше, создали крайне противоречивую ситуацию. Это подлинная «драма идей», которая характеризуется острой борьбой конкурирующих теорий, гипотез, концепций, быстрой сменой теоретических представлений. «Время жизни» многих из них в силу непримиримых противоречий с фактами часто не превышает нескольких месяцев (а есть и такие теории, которые успевают погибнуть раньше, чем статьи с их изложением выходят из печати).

Если критерием истинности различных теорий и концепций в астрофизике считать просто возможность их «согласования» с эмпирическими данными, то оказывается, что во многих случаях одни и те же факты можно понять, исходя из различных, в том числе и противоположных, представлений. Но все же применение и этого критерия позволяет сделать определенные выводы.

Бюраканская концепция, на наш взгляд, объясняет довольно естественно многие факты, особенно нестационарные процессы в галактиках, их ядрах и квазизвездных объектах. Никаких серьезных фактических данных, находящихся в противоречии с бюраканской концепцией, в настоящее время нет.

Нельзя вместе с тем не отметить, что как в прошлом, так и в настоящее время все же высказываются сомнения в реальности многих явлений, составляющих эмпирическую

основу бюраканской концепции. Отрицалась, например, неустойчивость звездных ассоциаций. Многочисленные возражения были первоначально высказаны против идеи о существовании компактных сверхплотных тел в ядрах галактик, проявляющих многообразные формы активности. Оспаривалась нестабильность скоплений галактик.

Конечно, было бы неправильно отрицать наличие ряда конкретных неточностей в некоторых старых работах бюраканских астрономов, посвященных исследованию нестационарных процессов во Вселенной. Было, например, установлено, что некоторые звездные группировки, первоначально считавшиеся ассоциациями, в действительности отнесены к этому типу систем ошибочно. Картина расширения звездных ассоциаций оказалась во многих случаях гораздо сложнее, чем расширение из одного центра; сомнения в том, что расширение нескольких ассоциаций уже надежно обосновано, оказались правильными. В ходе острейших дискуссий о нестационарности групп и скоплений галактик в первоначальные выводы также были внесены определенные коррективы. В целом же было не только подтверждено наличие явлений, составляющих эмпирическую основу бюраканской концепции, но было найдено много новых интереснейших явлений, свидетельствующих о ее правильности и плодотворности.

Что касается теоретических аспектов бюраканской концепции, то на современной стадии ее разработки большинство положений удастся сформулировать лишь качественно, так как эта концепция носит пока полуэмпирический характер. Значительное число вопросов остается без ответа. Но неразработанность какой-либо концепции, конечно, не должна рассматриваться в качестве аргумента против нее.

С другой стороны, анализируя теории происхождения и эволюции звезд, основанные на принципах «ортодоксального» направления, можно сделать вывод, что, хотя ряд следствий этих теорий действительно соответствует некоторым известным фактам, они вместе с тем сталкиваются с серьезными трудностями и противоречиями.

Сопоставление этих теорий с фактами приводит к следующим выводам:

а) ряд фактов, которые обычно рассматриваются как подтверждающие «классические» теории, может быть еще

более убедительно объяснен с позиций бюраканской концепции. Например, параллелизм между пространственным распределением молодых звезд и газовой-пылевой туманности может объясняться двумя альтернативными причинами: возникновением звезд из туманностей или совместным возникновением звезд и туманностей (на эту возможность указал академик Г. А. Шайн);

б) в некоторых случаях факты противоречат представлению об образовании звезд и звездных систем из диффузного вещества—это факты о процессах рассеяния и распада звездных групп и скоплений, а также связанных с ними газовых туманностей (часть последних состоит из диффузного вещества, которое «на наших глазах» выбрасывается из звезд); факты, говорящие о том, что процессы образования звезд продолжаются и в тех областях, где нет заметных количеств газа; процессы рассеяния и распада многих групп и скоплений галактик, которые невозможно понять с точки зрения гипотезы их образования из разреженного газа: если бы скопления галактик формировались таким путем, они были бы устойчивыми. Неоднократные попытки спасти эту гипотезу путем отрицания нестационарности групп и скоплений галактик пока не привели к успеху. Таким образом, выявились серьезные противоречия между гипотезой сгущения диффузного вещества в плотные небесные тела и фактическими данными;

в) многие факты, хотя и могут быть «объяснены» с классических позиций, но лишь с огромными натяжками, которые, по-существу, делают подобные объяснения совершенно неправдоподобными. Это относится в первую очередь к ряду нестационарных явлений в мире звезд и звездных систем. Особенности трудностей встречают попытки космогонического истолкования квазаров и процессов в активных ядрах галактик на основе идеи коллапса (катастрофического сжатия под действием тяготения). Какой бы вариант объяснения, основанного на гипотезе коллапса, ни предлагался, он довольно быстро сталкивался с теми или иными теоретическими трудностями и отвергался. По нашему мнению, гипотеза коллапса является неплодотворной и должна быть оставлена;



г) теория звездной эволюции не в состоянии сказать что-нибудь об одном из самых фундаментальных свойств звезд—о явлении звездных вспышек в фазе молодости звезд.

Конечно, известное соответствие получаемых из теории параметров и звездных треков на диаграмме Герцшпрунга—Рессела с наблюдаемыми является некоторым свидетельством в пользу теории. Но этого еще недостаточно для того, чтобы признать теорию уже хорошо обоснованной, тем более что в последнее время обнаружены интересные (правда, требующие тщательного подтверждения) факты, которые ставят под сомнение принятые в классической теории представления о природе источников звездной энергии (отсутствие ожидаемого потока нейтрино от Солнца).

Намного хуже обстоит дело с согласованием фактов и теорий «классического» направления при истолковании основных черт солнечной системы. Развитие даже наиболее детально разработанных гипотез происходит здесь таким образом, что все большее число положений, которые казались соответствующими фактическим данным, приходится непрестанно видоизменять и даже совсем от них отказываться. «Согласование» их с фактами, достигавшееся путем некоторой подгонки, оказывается иллюзорным и недолговечным.

Таким образом, даже применение ослабленного варианта критерия практики не позволяет сделать вывода, что теории «ортодоксального» направления как в астрофизике звезд и звездных систем, так и в астрофизике солнечной системы могут считаться уже надежно обоснованными; скорее совсем наоборот! Если же при оценке истинности теоретических представлений исходить из того, какие явления они оказались способными предсказать, то сделанный нами вывод только усиливается.

Было бы трудно отрицать, что «ортодоксальное» направление пока не привело к предсказанию чего-либо существенно нового. Например, хотя «ортодоксальная» теория внутреннего строения звезд основана на довольно разумных предпосылках, несмотря на гигантскую по объему работу по расчетам звездных моделей, а также на то, что астрофизика буквально переполнена неожиданными открытиями, на основе современной теории внутреннего строения звезд не было предсказано какого-либо принципиально нового явле-

ния, которое было бы затем обнаружено наблюдениями. В то же время, после открытия новых фактов их обычно удавалось согласовать с теорией путем введения более или менее произвольных дополнительных предположений. Все это лишает разработанные сейчас модели внутреннего строения звезд значительной части их ценности. Иногда говорят, что на основании этой теории строения и эволюции звезд было предсказано открытие нейтронных звезд—пульсаров. Но не следует забывать, что теория вырожденных конфигураций стоит особняком от общей теории строения звезд. Фактически ни одно из нестационарных явлений во Вселенной не только не было предсказано с позиций этого направления, но каждое новое открытие таких явлений выглядело для его сторонников как весьма неприятный «сюрприз».

Никаких предсказаний, которые были бы затем подтверждены наблюдениями, не было сделано с позиций гипотез «ортодоксального» направления относительно солнечной системы. В связи с этим появилось даже мнение, что требование предсказания новых явлений слишком жесткое и его не следует выдвигать.

В то же время на основе бюраканского направления удалось предсказать ряд качественно новых для астрономии явлений, таких, как нестационарность звездных ассоциаций, взрывы в ядрах галактик, нестационарность многих групп скоплений галактик и другие. Все эти предсказания были не только полностью и довольно быстро подтверждены, но в ходе их проверки были обнаружены новые грандиозные явления нестационарности во Вселенной. Эруптивная теория происхождения комет предсказала наличие льдов в кометных ядрах, важнейшую роль вулканических процессов в развитии планет и спутников. Оба эти предсказания получили сейчас убедительные подтверждения.

#### ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОЙ АСТРОФИЗИКИ

В развитии современной астрофизики четко прослеживается та же тенденция, которую отметил В. И. Ленин, анализируя начальный этап «новой революции в естествознании»: от привычного—к непривычному, неожиданному и, казалось бы, даже невозможному.

Эта перестройка системы знаний о Вселенной—ее расширение, углубление и уточнение,—по нашему мнению, имеет столь много общего с революцией, которая в первой трети XX века произошла в физике, что она может рассматриваться как ее продолжение и дальнейшее развитие. Но если теории нестационарных явлений во Вселенной во многих случаях еще не созданы, не является ли вывод о том, что в современной астрономии происходит революция, преждевременным? Ведь революция в науке—это не само по себе открытие новых, хотя бы и неожиданных фактов, а радикально новые теоретические истолкования их. Не следует ли подождать с подобным выводом до тех пор, пока новые теории не будут созданы по крайней мере в основных чертах?

На это можно возразить, что о революции в физике стали говорить задолго до того, как были разработаны новые фундаментальные физические теории—после открытий, подобных радиоактивности и других,—когда стало ясно, что прежние представления уже не имеют шансов на успех, но еще не были сформулированы даже основные принципы квантовой механики. Именно такая ситуация и сложилась в современной астрономии.

Каков механизм выделения колоссальных количеств энергии в активных ядрах галактик, еще недавно считавшихся заурядными, ничем не примечательными объектами? Астрофизик, занятый поисками ответа на этот вопрос, напоминает физика конца XIX—начала XX века, недоумевавшего, как «неделимые» атомы могут распадаться, выделяя энергию, или почему электроны в невозбужденном атоме не излучают энергии.

Понимание физической природы нестационарных явлений во Вселенной постепенно складывается в ходе исследований, совершенно аналогичных тем, которые проделали физики, прежде чем им удалось построить теорию атома или теорию радиоактивного распада, а именно путем изучения эмпирических закономерностей этих явлений. Если даже теории нестационарных космических явлений будут в конце концов построены на основе законов современной физики, все равно они заведомо окажутся настолько далекими от традиционных представлений, что их создание будет означать дальнейшее развитие революции в астрономии XX века. Но если выяснится, что известные нам сейчас физические

законы и теории недостаточны, астрономия снова, как и в эпоху Возрождения и нового времени, приведет к революционному изменению основных физических представлений и явится источником революции во всей системе физического знания.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. С. К. *Всехсвятский*, Природа и происхождение комет и метеорного вещества, Просвещение, М., 1967.
2. Я. Б. *Зельдович*, Удивительные звезды, в сб. «Рождение и эволюция галактик и звезд», «Знание», М., 1964, стр. 17.

## НИКОЛАЙ КОПЕРНИК И СОВРЕМЕННОЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ\*

Пятьсот лет назад в польском городе Торуне родился Николай Коперник, гений которого произвел великую революцию в истории естествознания. Он ниспроверг общепринятую до того времени «геоцентрическую» систему мира Птолемея, согласно которой Земля является центральным телом Вселенной, а Солнце, все планеты и сфера неподвижных звезд обращаются вокруг нее. Коперник установил новую «гелиоцентрическую» систему мира, по которой Земля так же, как и другие планеты, обращается вокруг Солнца, а видимое нами суточное перемещение небесного свода—лишь результат движения Земли вокруг своей оси.

Следует подчеркнуть еще одно обстоятельство. Поскольку мы наблюдаем другие планеты с Земли, движущейся вокруг Солнца, их видимые перемещения есть результат своеобразного сложения естественных движений с кажущимися, вызванными обращением Земли. В итоге траектории планет получаются весьма сложными. Система Птолемея принимала эти видимые движения за реальные, но не могла объяснить причины их сложности.

Гелиоцентрическая система мира вскрыла природу видимых перемещений планет. Она их вывела из более простых движений, совершаемых небесными телами вокруг Солнца, и обращения Земли, на которой находится наблюдатель.

Развивая и уточняя учение Коперника, И. Кеплер показал, что истинное перемещение планет (в том числе и Земли) вокруг Солнца совершается не по кругам, а по эллипсам. Точные законы движения планет были сформулированы им в виде трех знаменитых законов Кеплера.

Однако нужно было найти не только истинное движение

---

\* Статья впервые была напечатана в газете «Правда», № 49, (19923), 18 февраля, 1973 г., под заглавием «Уроки Коперника». Печатается по тексту газеты «Правда».

небесных тел, но и определить силы, заставляющие их двигаться по законам Кеплера. Такая задача была решена великим Ньютоном, сформулировавшим закон всемирного тяготения. Это открытие, означавшее переход от кинематического описания солнечной системы к динамическому объяснению явлений, ознаменовало окончательную победу коперниковского учения.

Но бессмертное дело Коперника не сводилось только к простой смене одной схемы устройства планетной системы другой. Чтобы пойти на это, нужно было найти в себе мужество отказаться от целого ряда понятий и представлений, казавшихся в то время незыблемыми. Надо было ломать устоявшиеся «истины», которые принимались как нечто очевидное и самой собой разумеющееся. К числу таких представлений относится прежде всего постулат о неподвижности Земли, о том, что сложный характер планетных движений является чем-то данным свыше и не подлежащим объяснению. Надо было отказаться от идеи о центральном положении человека в природе. Наконец, необходимо было пойти наперекор освященному столетиями авторитету Птолемея и Аристотеля, не говоря уже о том, что старая система была канонизирована церковью в качестве составной части ее мировоззрения.

Такой великий научный подвиг мог совершить только человек широко образованный и в совершенстве владевший астрономическими и математическими знаниями того времени, способный к глубокому анализу фактических данных и теоретических представлений, обладавший гениальной интуицией и с подлинным бесстрашием бросивший вызов тогдашним научным традициям, общепризнанным авторитетам и господствующей религии. Именно таким человеком был Николай Коперник.

По всем данным, уже в 1507 году Коперник достиг основных своих выводов. Он, однако, не торопился с их публикацией, все более углубляясь в разбираемые проблемы на основе вычислений и наблюдений. Только в 1540 году верный последователь Коперника немецкий ученый И. Рэтик издал первое изложение новаторских идей своего учителя. А знаменитая книга Коперника «Об обращении небесных сфер» была напечатана лишь в самом конце его жизни. Первый экземпляр ее пришел к автору в день его смерти—24 мая 1543 года.

В этой книге впервые за четырнадцать веков, прошедших после Птолемея, совокупность данных о движениях планет была подвергнута глубокому и тщательному математическому анализу. Коперник владел в совершенстве всем, чего достигла астрономия до него. Естественно, что книга, написанная на таком уровне, оказалась недоступной для специалистов. Это оберегало ее первое время от недоброжелательной критики со стороны несведущих лиц. С другой стороны, знатоки дела были вынуждены часто обращаться к ней и поэтому подробно знакомились с новаторскими мыслями автора. Таким образом, несмотря на запрещение книги в 1616 году католической церковью, новые идеи стали неудержимо пробивать себе дорогу.

Конечно, для полного и всестороннего торжества системы Коперника потребовалось много десятилетий борьбы. В ее победе сыграли роль и применение первого телескопа Галилея, и точные наблюдения Тихо Браге, который, кстати, сам не признавал гелиоцентрической системы, и многочисленные новые исследования.

Но раз сокрушение устаревших догм средневековой науки было начато, оно не могло не распространиться на смежные области естествознания. Люди стали повсюду искать за непосредственно наблюдаемыми явлениями реальную картину природы, задавать вопросы о причинах различных механических и физических процессов, вскрывать все более глубокие закономерности внешнего мира. Коперниковская революция стала отправной точкой для начавшейся и все ускорявшейся «цепной реакции» во всех новых областях науки. Труды Кеплера, Галилея и Ньютона заложили фундамент современного точного естествознания. Образно выражаясь, Коперник не только сдвинул Землю (и ее «планетой нарекоша»), но и дал толчок естествознанию для движения по новому пути.

Получив возможность на основании установленных законов механики и закона тяготения верно предсказывать космические явления, астрономия уже с начала XIX века потребовала и добилась создания тончайших измерительных приборов—меридианных инструментов и других телескопов с совершенной оптикой и точными движениями. Астрономия в течение всего XIX и первой четверти XX столетий справедливо считалась точнейшей из естественных наук, занимая

среди них первое место по безошибочности предсказания естественных явлений.

Лишив человека привилегированного места в мире, новая астрономия неизмеримо раздвинула рамки подлежащей познанию Вселенной. Сомнительное чувство предопределенной свыше исключительности сменилось у нашего современника гордостью за могущество человеческого разума, способного познавать явления, происходящие на расстоянии в миллиарды световых лет от Земли. А с момента, когда в мировое пространство было отправлено первое искусственное небесное тело, человечество осознало, что отныне положение и роль людей во Вселенной определяются их собственными усилиями.

Однако значение Коперника для современного естествознания заключается не только в том, что вызванная им первая великая научная революция явилась отправным этапом для непрерывного развития всех отраслей точного естествознания. Накопление большого количества необъяснимых принятыми теориями фактических данных, постановка вопросов, с которыми ученым еще не приходилось встречаться, время от времени приводят к кризисной ситуации в той или иной естественной науке. Выходом из нее являются замена отживших представлений новыми, создание их обновленной теории. Это иногда ведет к подлинной научной революции, когда вместо старых, считавшихся даже «само собой разумеющимися» понятий вводятся другие. Иными словами, в таких случаях наука следует примеру Коперника.

Важнейшим событием в истории естествознания явилась вторая великая естественнонаучная революция. Она произошла в начале текущего столетия благодаря успехам в области систематики атомных спектров, выяснению законов теплового излучения и открытию корпускулярного строения атома. Стало очевидным, что в мире атомных явлений известные законы классической механики и электродинамики неприменимы. Попытки создать компромиссную теорию и вывести для этого мира новые законы с помощью понятий классической механики (теории Н. Бора) полного успеха не имели. Только квантовая механика, возникшая в двадцатых годах, явилась ключом для объяснения явлений микромира.

Введение квантовой механикой совершенно новых, «неожиданных» для прежней науки представлений и понятий,



установление закономерностей иного типа, коренное изменение постановки тех вопросов, с которыми исследователь обращается к природе,—все это явилось революцией в физике и ознаменовало новую эпоху в развитии естествознания.

Под влиянием квантовой теории преобразились все отрасли физики. Замечательных успехов достигла теория твердого тела. Родилась квантовая химия. Появились квантовая оптика, квантовая радиофизика и квантовая электроника. Возникли новые отрасли техники, например, применение полупроводниковых приборов и лазеров.

Подобно научной революции, связанной с именем Коперника и распространившейся из рамок астрономии на все естествознание, новая революция, начавшаяся в физике, вышла далеко за ее пределы и в первую очередь оказала огромное влияние на ускорение развития астрономии и астрофизики. В результате физика с лихвой возвратила свой долг астрономии.

Вскрытие закономерностей атомного мира позволило на основе детального изучения звездных спектров понять много явлений, происходящих в звездных атмосферах и в газовых туманностях. Основанная на квантовой механике статистическая теория—так называемая квантовая статистика—помогла объяснить существование очень плотных звезд, получивших вследствие своих размеров название «белых карликов», предсказать существование барионных звезд, состоящих из сверхплотного вещества. Это блестяще подтвердилось открытием «пульсаров».

По существу цель, которой посвятил свой труд Коперник,—раскрытие устройства мира и характера движения находящихся в нем тел. Но поскольку в те времена накопленные фактические данные относились главным образом к планетам, то и решение, данное им, объяснило, притом приближенно, только устройство и кинематику планетной системы. Теперь объем доступной для нашего наблюдения части Вселенной неизмеримо расширился. Мы имеем заметную, хотя во многом еще недостаточную, информацию о космических объектах, находящихся от нас на расстоянии в миллиарды световых лет. В результате перед нами стоит задача: понять устройство Метагалактики—мира, включающего сотни миллионов галактик с миллиардами звезд в каждой.

Советский математик А. Фридман дал элегантное приближенное решение кинематической стороны этой проблемы, которую часто называют космологической. Он выдвинул известную схему расширяющейся Вселенной. Однако эта теория оказалась бессильной решить основной вопрос космологии: почему вещество Метагалактики собрано в дискретные образования—галактики?

Становится все более вероятным, что объяснение этому, так же как и причинам взрывных процессов в ядрах галактик и квазарах, грандиозных энерговыделений в квазизвездных объектах и радиогалактиках, нельзя найти без введения новых представлений о свойствах вещества. Не исключено, что эти представления можно будет создать на основе уже известных законов современной физики. Однако нам кажется более вероятным, что как для истолкования указанных явлений, так и для решения происхождения галактик и квазизвездных объектов, придется прибегнуть к коренному изменению существующих законов теоретической физики с учетом тех необычных состояний материи, которые наблюдаются в ядрах галактик и квазизвездных объектов.

Исходя из материалистического тезиса о неисчерпаемости свойств материи, трудно предположить, что известные нам законы теоретической физики потенциально способны объяснить все ее состояние. Открытие новых, более глубоких свойств и более общих закономерностей будет означать дальнейшее углубление в сущность физических процессов, переход на еще одну ступень в познании природы.

Мы привели здесь в качестве примера проблемы космологии. Но и в постановке других актуальных задач естествознания мы встречаемся с той же тенденцией: за видимыми явлениями и частными закономерностями искать реальные явления, их глубокие причины и общие закономерности. Идя по такому пути, естествознание следует примеру Коперника. В этом неисчерпаемое его влияние на современную науку. В этом его бессмертие.

## КОПЕРНИК И СОВРЕМЕННАЯ АСТРОНОМИЯ\*

Мне выпала большая честь выступать перед этим высоким собранием по вопросу о значении Коперника для современной астрономии. Прежде чем начать доклад, я хочу предупредить, что мне очень редко приходилось заниматься вопросами истории науки. Лично я думаю, что история науки—очень важный, очень трудный и весьма поучительный предмет. иной раз даже обидно, что об этом предмете пишется так много сочинений, излагающих внешнюю сторону событий, и так мало глубоких исследований. Причина этого нам всем ясна. Кто способен творчески работать в науке, часто предпочитает *создавать в ней* что-то свое, а кто не может творить сам, тому нелегко понять творческий процесс у других, тем более ученых прошлых эпох, особенно если это были по-настоящему великие люди, великие мыслители. Однако надо надеяться, что в связи с быстрым ростом значения науки как важной отрасли человеческой деятельности закономерности ее развития, а, следовательно, и ее история, будут привлекать все более серьезное внимание.

Таким положением в разработке проблем истории науки объясняется, по-видимому, и то, что, хотя Копернику, его жизни и творчеству посвящено много трудов, некоторые воп-

---

\* Доклад на Юбилейном заседании Общего собрания Академии наук СССР, посвященном 500-летию со дня рождения Н. Коперника, 6 марта, 1973 г. Печатается по тексту журнала «Вестник Академии наук СССР», № 5, 1973, стр. 46—56.

В этом докладе впервые показано, что распространенное утверждение о том, что Коперник не имел прямых доказательств обращения Земли вокруг Солнца, является ошибочным. Таким прямым доказательством для Коперника, по мнению В. А. Амбарцумяна, являлось параллактическое движение внешних планет, описывавшееся во времена Коперника как видимое движение планет по эпициклам.

росы, относящиеся к полученным им основным научным результатам, освещаются не совсем точно. Поэтому, отвлекаясь от основной темы, я позволю себе сделать некоторые замечания о сущности достижений самого Коперника и их оценке.

Здесь следует иметь в виду две стороны проблемы.

Создание Коперником гелиоцентрической системы мира явилось началом глубочайшей революции в точном естествознании. Возникнув в астрономии, эта революция распространилась на механику и всю физику. Достижения этой научной революции по-существу служат фундаментом для всего здания современного естествознания. Чем лучше и крепче сделан фундамент здания, тем меньше он причиняет волнений и тем меньше занимает людей, живущих в этом здании. Фундамент, заложенный Коперником, Галилеем, Кеплером и Ньютоном, был заложен отлично. Он действительно не вызывает беспокойства. За это современное естествознание бесконечно обязано Копернику, положившему его первый камень.

Вторая, и для нас более интересная, сторона проблемы заключается в том, что будучи *величайшим новатором и революционером* в науке, Коперник показал образцы глубокого анализа данных астрономической науки и их истолкования для создания новой системы, проявил гениальную интуицию и подлинное бесстрашие, отказавшись от господствовавших в его время взглядов. При этом, разумеется, речь идет о новаторстве, основанном на самом глубоком изучении предмета. Этому новаторскому подходу к науке астрономия и все естествознание учились и еще долго будут учиться у Коперника. Иными словами, он был, остается и всегда будет для нас великим и живым учителем, к которому обращаются за советом и за примером.

Если первая сторона проблемы совершенно очевидна и не требует дальнейших комментариев, то вторая, связанная с влиянием Коперника на современную науку, его значением для ее дальнейшего развития, еще требует изучения и на данном этапе может рассматриваться различными учеными неодинаково. Именно на этом мы и остановимся вкратце, считая особенно важным то новое, что внес Коперник в подход к решению научных задач.

Конкретным результатом деятельности Коперника явилось создание гелиоцентрической системы мира, правильное познание природы нашей планетной системы. Познание при-

роды любой космической системы может вестись в разных аспектах. Среди наиболее важных из них следует назвать проблему пространственного устройства системы, проблему кинематики и динамики системы и проблему ее происхождения и развития.

Природа некоторых космических систем такова, что каждый из упомянутых аспектов может изучаться в известной степени независимо от других. В других случаях это практически невозможно, т. е. два или три аспекта должны рассматриваться почти всегда вместе.

Так, в случае планетной системы проблема пространственного устройства почти неотделима от кинематической. Эти две проблемы неразрывно связаны между собой, но третья— проблема происхождения планет—может рассматриваться на следующем этапе. В случае звездной системы (любой галактики, нашей Галактики, любого звездного скопления) проблема ее пространственного строения может сначала рассматриваться отдельно. После ее грубого решения могут быть рассмотрены кинематика и динамика, а затем, на более позднем этапе может решаться проблема происхождения и эволюции звездной системы (или систем).

В противоположность этому, на более высоком уровне астрономических исследований, например, при изучении Метагалактики, все три аспекта оказываются связанными друг с другом самым тесным образом. Именно благодаря этому проблемы изучения Метагалактики, т. е. проблемы современной космологии, оказываются крайне трудными и привлекают широкое внимание.

Коперник всю свою жизнь посвятил совместному изучению пространственного и кинематического аспектов проблемы планетной системы. Несомненно, одним из важнейших моментов в жизни и деятельности Коперника является этап, когда его недовольство геоцентрической системой переросло в убеждение, что эта система бесперспективна, когда он понял правильность гелиоцентрической системы и решил посвятить свои усилия ее разработке. Дело историков науки найти, когда это случилось, был ли этот выбор между двумя системами произведен мгновенно, в результате прибавления какого-либо важного аргумента к уже имевшимся в сознании молодого ученого, или он был обусловлен длительным процессом взвешивания всех доказательств «за» и «против».

Оговоримся, что если новая система верна, то все «против» при ближайшем изучении оказываются аргументами «за нее».

Кстати, такие случаи, когда аргумент, сперва как будто противоречивший новой теории, превращается в яркое свидетельство в ее пользу, часто служат поводом для окончательного убеждения в ее справедливости. Вспомним, например, критическую ситуацию, сложившуюся на наших глазах в конце 50-х годов вокруг теории, согласно которой радиогалактики являются результатом столкновения двух галактик. Тогда в качестве наиболее сильного аргумента в пользу этой теории приводили особенности движений в галактике NGC 1275 в созвездии Персея. Но более подробный анализ положения именно в этой галактике дал яркие свидетельства в пользу противоположной концепции, считающей радиогалактики результатом активности ядер, и вопрос был окончательно решен в пользу нового представления.

Здесь нас интересует не хронология поворотного момента в творчестве Коперника, а каков был характер решающих аргументов в той драматической борьбе идей, которая несомненно имела место в его сознании. Мы этого в точности не знаем, но, очевидно, что одним из таких аргументов могло быть совпадение в системе Птолемея периода движения Сатурна, Юпитера и Марса по соответствующим эпициклам (а также движения Меркурия и Венеры по деферентам) с периодом движения Солнца по деференту\*, т. е. точное равенство этих периодов одному году. Это точное совпадение было совершенно естественным с точки зрения гелиоцентрической системы и совершенно необъяснимым для системы Птолемея.

Однако дело в том, что все численные отношения периодов в системе Птолемея являлись чем-то предопределенным как бы свыше и не требующим объяснения. Только глубокая интуиция, а также созревший в сознании Коперника новый подход к явлениям природы, похожий на современный подход, могли подсказать ученому, что такое *точное совпадение* четырех периодов должно иметь весьма простую причину, в

---

\* В системе Птолемея предполагалось, что движение планет вокруг Земли совершается по некоторому малому кругу (эпициклу), центр которого движется вокруг Земли по другому, большому кругу, называемому деферентом. (Прим. автора).

данном случае то, что все они отражают одно и то же движение—годовое обращение Земли вокруг Солнца. Став на такую позицию, было естественным рассматривать этот эффект как самое прямое, непосредственное и убедительное доказательство годового движения Земли. Более того, это движение Земли было единственно возможным объяснением такого совпадения. Тогда, как и сейчас, нельзя было придумать другого объяснения.

Между тем, в литературе часто встречается утверждение, будто Коперник не имел прямых доказательств движения Земли вокруг Солнца, что просто его теория упрощала систему мира, поэтому она, в конечном счете, и была принята, и что прямые доказательства этого движения были получены лишь много времени спустя после его смерти, вследствие открытия абберации света звезд и измерения годовых звездных параллаксов. По этому поводу можно лишь заметить, что трудно провести сколько-нибудь точное разграничение между прямыми и косвенными доказательствами какого-либо утверждения, относящегося к природным явлениям. То, что для человека ограниченного служит лишь косвенным свидетельством, порой для проницательного исследователя может быть самым прямым и самым убедительным доказательством. Как указывалось выше, совпадение периодов безусловно является именно таким доказательством. Собственно говоря, видимые движения внешних планет по эпициклам имеют в точности ту же самую природу, что и видимые движения неподвижных звезд по годовому параллактическому эллипсу. Поэтому как можно явление годового параллакса считать прямым доказательством, а гораздо более крупное явление, параллактическое движение внешних планет, описывавшееся во времена Коперника, как видимое движение планеты по эпициклу, не считать прямым доказательством?

Для большей ясности произведем следующий мысленный эксперимент. Представим себе, что Солнце, кроме планет, имеет также отдаленный самосветящийся спутник, т. е. является широкой двойной звездой, и указанный спутник вращается вокруг Солнца на расстоянии 10 000 астрономических единиц. Тогда период обращения этого спутника вокруг Солнца будет близок к миллиону лет. В своем орбитальном движении он будет перемещаться примерно на 1.2 секунды дуги в год. Для астронома, не знающего, что это спутник:

Солнца, объект будет представляться звездой, собственное движение которой равно  $1''.2$ , а годичный параллакс  $20''$ . Астроном же, знающий, что этот объект описывает орбиту вокруг Солнца, будет рассматривать столь большой годичный параллакс как эпицикл.

Этот пример рельефно показывает, что между двумя доказательствами движения Земли вокруг Солнца (тем, которое было у Коперника, и тем, которое было получено в XIX в.) нет принципиальной разницы. Только, выражаясь фигурально, у Коперника было доказательство, большее по своим угловым размерам.

Итак, неправильно считать, что в эпоху Коперника не было прямых доказательств движения Земли. Именно потому, что Коперник обладал гениальной интуицией, сила и значение указанного выше доказательства в его глазах во много раз перевешивали различные неувязки в его теории и возможные возражения противников новой системы. С этой точки зрения как открытие аберрации света звезд в XVIII в., так и измерение первых годичных параллаксов в XIX в. послужили подтверждениями, хотя и крайне важными, но лишь подтверждениями системы Коперника.

Другое обстоятельство, которое, несомненно, делало гелиоцентрическую систему убедительной в глазах Коперника, было то, что в системе Птолемея относительные размеры орбит различных планет вокруг Земли оставались неопределенными. В гелиоцентрической же системе эти отношения определялись из наблюдений сразу. Они были найдены Коперником, и полученные им численные значения отношений диаметров орбит мало отличаются от принимаемых нами сегодня отношений больших полуосей. А это значит, что Копернику удалось получить хотя и приближенную, но правильную картину устройства солнечной системы.

Таким образом, гелиоцентрическая система мира сразу же предстала перед ее автором и перед подлинными учеными как теория, дающая однозначный ответ на вопросы, которые теория Птолемея оставляла без ответа вообще. Можно себе представить, какую уверенность вселяла такая строгая однозначность ответа в автора теории.

Итак, новая система мира становилась космологией, в которой геометрические соотношения определялись количественно и притом однозначно из наблюдений. Это относилось



в некоторой степени и к неподвижным звездам, расстояния до которых столь велики, что их было невозможно определить при измерительных средствах того времени. Поэтому тогда можно было дать лишь нижнюю границу этих расстояний.

Сказанное выше дает основание внести некоторое уточнение в оценку исторической роли Коперника и утверждать, что Коперник по своему подходу к задачам бесконечно удался от Птолемея. Между тем, в литературе часто подчеркивается, что при описании движений планет Коперник постоянно пользуется понятиями и приемами Птолемея, вследствие чего, якобы, новая система не была еще удовлетворительной. Конечно, при описании кинематической стороны дела Коперник вводил усложнения такого же типа, которые были у Птолемея. Но не надо забывать, что проблема устройства планетной системы имела два аспекта: пространственный и кинематический. Мы указывали, что характер системы требовал совместного рассмотрения этих двух аспектов, но это не значит, что полученное решение должно было оказаться одинаково совершенным в обоих аспектах. Из приведенных фактов ясно, что Коперником было найдено решение задачи о пространственном устройстве планетной системы, не вызывающее никаких принципиальных возражений. Что касается кинематического аспекта, то здесь было дано лишь приближенное описание. Окончательное решение проблемы кинематики было дано Кеплером.

На приведенных примерах мы видели также, как в трудах Коперника в науку решительно вторгались новые требования. В одном случае—объяснения численных совпадений и соотношений, а в другом—однозначного определения на основе наблюдений размеров входящих в систему величин. Эта тенденция, когда по мере углубления наших знаний в какой-либо области возникают требования определения и теоретического объяснения явлений и величин, которые при более ранних и поэтому более поверхностных описаниях оставались *неопределенными* или *необъяснимыми*, является основной тенденцией во всем развитии современного естествознания.

Приведем элементарный пример. Если установленный в прошлом веке закон Кирхгофа определял только отношение между спектральной, излучательной и поглощательной способностью нагретого газа, то сегодня сами коэффициенты

поглощения и излучения газа становятся величинами, которые определяются из атомной физики.

И если уже на первом этапе теории свечения газовых туманностей было возможно, исходя из температуры освещающей звезды, температуры электронного газа туманности и ее химического состава, теоретически определить относительные интенсивности спектральных линий, наблюдаемых в эмиссии, то в дальнейшем возник вопрос об определении из соотношений энергетического баланса электронной температуры, на первом этапе принимавшейся заранее заданной. Следующий этап—объяснение химического состава на основе теории возникновения туманностей и теории эволюции химического состава порождающих их звезд и т. д. Так, параметры, которые раньше не поддавались даже наблюдательному определению, в дальнейшем становится возможным определить на основе правильной интерпретации измерений некоторых наблюдаемых величин, а на более поздней стадии их удастся получить из теоретических расчетов. Более того, их значения удастся предсказать для тех случаев, когда соответствующие наблюдения еще предстоит сделать.

\* \* \*

В результате исследований Галилея, Кеплера и Ньютона гелиоцентрическая система мира Коперника превратилась в логически законченную теорию, внесшую полную ясность в проблему устройства планетной системы. Более поздние исследования, приведшие к открытию Урана, Нептуна, Плутона, так же, как обнаружение множества спутников больших планет и астероидов, только дополнили картину в полном соответствии с основами уже построенной теории. Таким образом, была разрешена *первая задача космологии—выяснение устройства непосредственно окружающего нас мира—солнечной системы.*

После выяснения строения солнечной системы следующей важнейшей космологической задачей должна была стать проблема *устройства звездной системы*, куда Солнце входит в качестве одного из членов. В течение XVIII, XIX и первой четверти XX в. астрономами были приложены огромные усилия для накопления соответствующих данных о звездах. Звездные подсчеты, прообразом которых были знаменитые

«черпки» Гершеля, составление обширнейших звездных каталогов типа до сих пор широко используемого каталога Аргеландера, определение звездных движений путем тончайших измерений их положений, наиболее блестящим примером чего могут служить известные пулковские каталоги звездных положений, работы по фотометрии и спектральной классификации звезд, наблюдения их лучевых скоростей, прямые и косвенные определения их параллаксов—все это было направлено на получение возможно более обширной информации о большом количестве звезд. На этой основе возникли такие дисциплины, как звездная астрономия и звездная статистика, стремившиеся посредством изучения *видимого распределения* по небу миллионов звезд и данных о расстояниях некоторой части из них составить карту пространственного строения звездной Вселенной, т. е. системы Млечного Пути, или, как теперь говорят, нашей Галактики.

Однако в первых схемах строения звездной системы благодаря приблизительно равномерному *видимому распределению звезд* вдоль пояса Млечного Пути получалось, что Солнце находится где-то вблизи центра системы. Такое неправильное заключение было вызвано тем, что не учитывалось поглощение света в межзвездном пространстве. Только в 20-х годах нашего века американский астроном Шепли показал, что данные, относящиеся к наиболее удаленным от нас объектам звездной системы, неукоснительно свидетельствуют о нахождении этого центра на огромном расстоянии от Солнца (по современным данным около 30 000 световых лет) в направлении созвездия Стрельца. Определение истинного местонахождения центра Галактики было *крупнейшим достижением астрономии*. Но на этот раз такая смена представлений не вызвала научной революции. Решение вопроса было достигнуто методами, уже тогда ставшими обычными в астрономии.

В тот период говорилось, что все, находящееся в районе центра Галактики, закрыто от нас темными облаками космической пыли, и нам трудно разобраться в устройстве этой центральной части нашей Галактики. Теперь, благодаря методам инфракрасной астрономии и радиоастрономии, для которых пылевые облака уже не являются непреодолимым препятствием, мы знаем, что там находится такое же ядро, какое имеется в соседних галактиках. Исследование строения

и свойств этого ядра является сейчас актуальнейшей задачей астрономии.

В 30-х годах нашего столетия были в основном решены проблемы движений звезд в Галактике. К тому времени были открыты главные закономерности вращения звезд вокруг центра Галактики. Тем самым была положена основа решения *второй большой космологической проблемы*, стоявшей перед астрономией,—об устройстве звездной системы. Устройство звездного мира и в количественном, и в качественном отношении оказалось резко отличающимся от устройства планетной системы. Хотя ядро Галактики—его центральное образование, однако основную часть массы Галактики составляют миллиарды входящих в нее звезд. Иными словами, большая часть массы распределена во всем объеме Галактики, и движение здесь по-существу происходит *вокруг общего центра тяжести*. Динамическое воздействие самого ядра на звезды относительно невелико в отличие от планетной системы, где динамическое воздействие Солнца определяет в основном движения планет.

Уже в те годы, исходя из состава звездного населения нашей Галактики, можно было заключить, что она представляет собой *спиральную систему*. Однако только в 50-х годах, после открытия *звездных ассоциаций*, удалось установить действительную топографию спиральных рукавов в нашей Галактике как *геометрических мест, где расположены O-ассоциации*. Было найдено, что наша Галактика принадлежит к числу спиральных систем со средней степенью открытости рукавов.

*Таким образом было в основном выполнено решение проблем строения и кинематики нашей Галактики*, т. е. завершен второй (после Коперника) этап в решении стоящих перед астрономией космологических задач. Однако, конечно, еще продолжают работы по уточнению всех деталей строения Галактики и остается нерешенной проблема возникновения установленной структуры.

Следующей ступенью в постановке космологических проблем явилась проблема строения гигантской системы галактик—Метагалактики, простирающейся от нас на расстояния в миллиарды световых лет во все стороны. Исследование кинематической стороны этой проблемы привело к установлению *закона красного смещения Хаббла*, иными словами, к

установлению факта расширения Метагалактики. Несколько раньше этого А. А. Фридман показал, что в рамках релятивистской теории тяготения существуют решения уравнений тяготения, которые соответствуют расширению Вселенной в целом, а также решения, соответствующие ее сжатию. При этом эмпирический закон Хаббла соответствует одному из этих решений. Это соответствие указывает на широкую применимость современной теории тяготения к Метагалактике, хотя могут быть различные мнения по вопросу о том, насколько далеко можно экстраполировать решение Фридмана.

Однако современная теория тяготения оказалась бессильной в решении основного космологического вопроса — объяснения *островного строения Метагалактики*, т. е. того, что она состоит из совокупности пространственно изолированных друг от друга звездных систем.

Новые открытия в этом отношении следовали одно за другим уже на основе наблюдений. Перечислим их. Вопреки построенной Хабблом картине более или менее равномерного пространственного распределения галактик, в которое только вкраплены отдельные скопления галактик, швейцарский астроном Цвикки открыл, что по существу вся наблюдаемая *Метагалактика состоит из гигантского числа отдельных скоплений галактик* и что большинство галактик является членами этих скоплений. Тем самым Цвикки установил одну из самых замечательных закономерностей современной космологии.

Далее. Имеются веские основания в пользу того, что и скопления галактик не распределены в пространстве равномерно, а образуют так называемые «сверхскопления». Наконец, есть указания и на существование неоднородностей более крупного масштаба.

В результате работ по определению лучевых скоростей отдаленных галактик был сделан *существенный шаг* в решении наиболее крупной по масштабу (третьей) космологической проблемы, хотя здесь еще далеко до полного завершения дела. Кроме того, в случае Метагалактики проблемы структуры и кинематики оказываются неотделимыми от проблемы происхождения и развития. Здесь космологическая и космогоническая проблемы сливаются воедино, о чем уже говорилось выше.

С теоретической точки зрения трудность тут состоит в том, что совершенно однородным по плотностям моделям Вселенной, разрабатываемым релятивистской космологией, противостоит *реальная Вселенная* со всеми ее структурными особенностями. Думается, однако, что здесь нет полного противоречия, так как предположение об однородности моделей вносится в релятивистскую космологию для облегчения расчетов. Несомненно, что релятивистская космология может описать и неоднородную Вселенную. Однако сама *дискретность распределения вещества в Метагалактике*, наличие галактик, скоплений и сверхскоплений являются фундаментальным космологическим фактом, который, очевидно, получит свое объяснение только на основе теории происхождения и эволюции объектов и систем.

Как показал опыт, именно вопросы происхождения небесных тел—наиболее сложные в астрономии, и именно в этой области разворачивается борьба различных идей и возможных подходов.

Один из существующих подходов можно назвать попыткой решения задачи, главным образом, на основании умозрительных соображений. Предполагается (и это, действительно, только предположение), что первоначально вещество было распределено более или менее однородно в виде большого газового облака, а затем, вследствие гравитационной неустойчивости, облако разорвалось на части, которые стали сгущаться в более плотные тела или группы тел. Последовательная фрагментация облаков с дальнейшим их сгущением должна, якобы, дать наблюдаемую структуру.

Надо сказать, что такие представления сопровождались многочисленными расчетами. Поэтому развитие этих представлений не должно считаться чем-то совершенно оторванным от обычного хода науки в целом. Более того, соответствующие гравитационно-газодинамические решения могут представлять ценность с различных точек зрения. Но произвольное исходное допущение, касающееся газового облака или менее равномерной плотности, само по себе не обосновано ничем, разве только авторитетом Канта, а полный отрыв такой космогонии от наблюдательных данных вызывает опасения, что таким путем мы можем не прийти к решению вопроса.

Другой подход к проблеме происхождения космических объектов указывает на необходимость обратиться к самой природе и из наблюдений вывести искомые закономерности развития. Он не отрицает умозрительных методов, но объявляет чисто умозрительный подход неплодотворным. Он основывается на анализе наблюдательных данных и их обобщении.

Однако наблюдательный подход к решению проблем происхождения и развития небесных тел встречает известные трудности в связи с тем, что промежутки времени, необходимые для существенного продвижения космических объектов по пути их развития, часто измеряются многими миллионами лет, и потому непосредственное наблюдение такого продвижения бывает невозможно.

Но бывают исключения. Исключения составляют вспышки Новых звезд, Сверхновые, фуоры, а также те интересные случаи, когда физическое состояние объектов определяется более или менее монотонно меняющейся величиной, измеряемой весьма точно. Так, период колебания радиоизлучения пульсаров (пульсары—это недавно открытая разновидность *сверхплотных тел*) может быть определен в ряде случаев с точностью до одной десятимиллионной доли его длины. Поэтому если даже существенные изменения периода требуют миллионов лет, направление и скорость изменения этого периода могут быть определены довольно хорошо за два-три года наблюдений. Выяснилось, что вращение всех пульсаров систематически замедляется, хотя время от времени как бы толчками происходит ускорение периода, что лишь немного меняет темп замедления, если взять длительные сроки.

Наконец, имеются другие случаи, когда некоторая часть процесса эволюции сводится к простым механическим или статистико-механическим явлениям и поэтому может быть хорошо рассчитана без внесения каких-либо сомнительных гипотез. Так, вопрос об эволюции открытых звездных скоплений в значительной мере сводится к вопросу о взаимодействиях членов скопления во время их внутренних движений. Статистико-механические расчеты, а также вычисления на ЭВМ показывают, что тут эволюция всегда идет в направлении «испарения» звездного скопления, когда звезды постепенно уходят из скопления и входят в общее звездное поле Галактики.

Но кроме этих прямых или почти прямых данных о направлении эволюционных изменений и их скорости, с помощью наблюдений получают и другие, не менее ценные сведения. Речь идет о тех случаях, когда мы застаем космические объекты на поворотных этапах развития, связанных с переходом из одного состояния в другое, резко отличное от первого. В частности, это те случаи, когда объект в наблюдаемой форме только что образовался. Так, исследование планетарных туманностей показало, что они не могут быть стационарными объектами. Наблюдения структуры спектральных линий у этих объектов подтвердили, что объекты расширяются. Благодаря этому в грубых чертах была решена проблема происхождения планетарных туманностей. Установлено, что каждая такая туманность выбрасывается из ее центральной звезды, а затем, расширяясь, рассеивается в межзвездном пространстве за промежутки времени порядка 100 тысяч лет. Таким образом, планетарные туманности явились первыми объектами звездного мира, происхождение которых установлено, хотя мы не знаем в точности, какие силы вызывают отделение массы туманности от центральной звезды.

Этот пример был интересен тем, что в отличие от схем развития, выдвигавшихся на основе упомянутых выше умозрительных представлений, мы встретили здесь *не процесс сгущения диффузного вещества (туманности) в звезду*, а наоборот, наглядный пример *рождения диффузного образования (туманности) из звезды* и его рассеяния в межзвездном пространстве.

В течение последних десятилетий астрономия обогатилась новыми наблюдательными данными, свидетельствующими о процессах образования диффузных разреженных, обычно нестабильных объектов из более плотных агрегатов. И хотя значительная часть подобных открытий относится к процессам, протекающим внутри нашей Галактики, все же наиболее поразительными оказались данные, которые относятся к подобным явлениям, происходящим в масштабе целых галактик, т. е. к грандиозным процессам их превращений, особенно связанным с деятельностью ядер галактик.

Мы уже упоминали, в частности, о радиогалактиках—системах, дающих особо интенсивное радиоизлучение. Очень часто это интенсивное радиоизлучение исходит из двух ди-



скретных облаков релятивистской плазмы, расположенных более или менее симметрично по отношению к ядру данной галактики на некотором расстоянии от него. Факты, относящиеся к радиогалактикам, не оставляют сомнения, что эти облака возникли из вещества, выброшенного из ядра в результате гигантского взрыва. Но каждая галактика представляет собой сложную систему, состоящую из целого ряда подсистем, взаимно проникающих друг в друга и имеющих, как правило, общий центр в ядре галактики. Иначе говоря, каждая галактика является суперпозицией, наложением целого ряда подсистем, имеющих общий центр. Некоторые из этих подсистем состоят из звезд высокой светимости, другие—из звезд-карликов, одни из них имеют форму спиралей, другие—диска, третьи—эллипсоида, а иногда и шара.

Чтобы не входить в специальные подробности, укажем здесь, что, например, каждую галактику можно (в известной степени условно) представить себе как наложение трех подсистем: подсистема звезд, подсистема классического межзвездного газа, подсистема, состоящая из релятивистского газа, т. е. частиц высоких энергий. К последней подсистеме можно отнести и магнитное поле, в котором эти частицы движутся.

Сказанное нами выше означает, что третья из этих подсистем, состоящая из релятивистской плазмы, возникает у радиогалактик в результате выброса огромного количества вещества и энергии из ядра. Что касается второй подсистемы, то в ряде случаев мы имеем *прямые доказательства выброса* по крайней мере основной части классического межзвездного газа из ядра. Это касается галактики М82, галактик Сейферта, галактик типа NGC 3561.

Однако не все газовые массы должны появиться в результате прямого выброса вещества из ядра. Ряд диффузных туманностей в нашей Галактике (туманность Ориона, туманность NGC 2244—Розетка и др.) возник вместе со звездами звездных ассоциаций, расположенных в спиральных рукавах нашей Галактики, куда они входят. Поэтому вопрос о происхождении этих газовых масс неотделим от проблемы происхождения звезд и, в частности, проблемы механизма возникновения звездных ассоциаций.

Независимо от того, возникает ли звездная ассоциация из плотного прототела или из большой диффузной газовой

массы (назовем ее диффузным прототелом), в обоих случаях мы должны постулировать длительное или кратковременное существование прототел, за счет масс которых возникают звездные ассоциации и другие звездные группировки.

Встает вопрос: как появились эти массы в объеме Галактики? Можно ли допустить, как некоторые думают, что хотя масса подсистемы, состоящей из релятивистского газа (особенно в тех случаях, когда эта масса велика), может выбрасываться из ядра и масса подсистемы, состоящей из классического газа, по крайней мере частью выбрасывается из ядра, все же масса, из которой возникает звездное население данной галактики, появляется из какого-то другого источника, например в результате сгущения протогалактического гипотетического облака?

Идея о таком двойственном происхождении массы, сосредоточенной в объемах галактик, чем-то напоминала бы теорию Тихо Браге о том, что часть планет обращается вокруг Солнца, а часть—вокруг Земли.

Тот факт, что спиральные рукава, в которых расположены звездные ассоциации, во многих случаях непосредственно начинаются в ядре галактики, свидетельствует скорее в пользу ядерного происхождения масс, из которых формируются звездные ассоциации и звезды.

Добавим к этому, что энергия, освобождающаяся в результате мощных процессов, происходящих в ядрах галактик, сравнима с суммарной кинетической энергией всех звезд галактики, а иногда даже превосходит ее. Поэтому и в энергетическом отношении ядра галактик могут вполне обеспечить формирование всей галактики вокруг ядра.

Таким образом, мы приходим к представлениям, согласно которым *галактика возникает в результате активности ее ядра*. Это означает, что на первоначальном этапе эволюции ядра должны быть изолированными компактными объектами, без значительного звездного и небулярного населения вокруг них.

Наблюдаем ли мы такие изолированные ядра?

Естественно предположить, что открытые 10 лет назад квазизвездные объекты являются именно такими изолированными, предельно компактными объектами.

За истекшие 10 лет открыто также много метагалактических объектов промежуточного типа. Это компактные га-

лактики, галактики с ультрафиолетовым избытком, что как будто подтверждает предположение о переходах квазизвездный объект—галактика. Однако вопрос о том, как именно совершается этот переход, пока еще труден, и здесь существуют разные точки зрения. В частности, не исключено, что каждый квазар, как это считает Б. А. Воронцов-Вельяминов, дает начало целому скоплению галактик.

Можно полагать, что окончательное решение будет в пользу представления о последовательной фрагментации, приведшей к образованию сверхскоплений, скоплений галактик, а затем отдельных галактик. Однако не думаю, что окончательная теория сведется только к этой картине. Подобно тому, как картина, предложенная Коперником, была уточнена в работах Кеплера и круговые движения были заменены эллиптическими, так из упомянутых выше двух противоположных друг другу картин та, которая окажется правильной, должна будет пройти путь существенных уточнений и нововведений. Это в свою очередь поможет найти более фундаментальные законы, лежащие в основе космогонических процессов.

Астрономия—древнейшая из наук. Несмотря на это, в течение последних 100 лет она переживает такой интенсивный процесс роста и обновления, период таких замечательных открытий, что ей может позавидовать любая более молодая дисциплина.

Если в течение тысячелетий астрономия занималась одними и теми же объектами—планетами, их спутниками, звездами, кометами и метеорами, а также системами этих объектов, то в последние два десятилетия открыты новые, существенно иные объекты: ядра галактик, квазары, пульсары, рентгеновские источники. Многие из этих объектов нестационарны. В их изучении все большую роль начинают играть методы внеатмосферной астрономии, применение спутников и космических станций. Астрономические исследования распространяются на все более широкие объемы Вселенной, а сами исследования приобретают все более глубокий характер. Вскрываются все более глубокие тайны природы.

Бесстрашный польский ученый проложил путь, приведший к замечательным по своей плодотворности результатам. Человечество еще долго будет пользоваться плодами его безмерного труда. Поэтому сегодня, когда мы отмечаем 500-ле-

тие со дня рождения Коперника, мы видим в нем пример для каждого ученого. Мы указываем молодежи на это удивительное сочетание трудового героизма, гениальной интуиции, научной добросовестности и бескорыстного служения обществу.

Всем этим Коперник особенно близок нам, гражданам нового общества, основанного на труде, на принципах науки и подлинного гуманизма. Его идеи освещают новые пути, пролагаемые современным точным естествознанием.

## РАЗДЕЛ ВТОРОЙ



## 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

---

\* Доклад («Современная астрофизика и космогония»), прочитанный на Общем собрании Академии наук СССР, посвященном 30-летию Великой Октябрьской социалистической революции, 27 октября 1947 г. Переработанный текст доклада был издан отдельной книжкой: «Эволюция звезд и астрофизика», Изд-во АН Арм. ССР, Ереван, 1947. Печатается по книге: В. А. Амбарцумян, Научные труды, т. 2, Изд-во АН Арм. ССР, Ереван, 1960, стр. 96—115.

В этом докладе впервые В. А. Амбарцумян сообщил об открытии звездных систем нового типа, названных им звездными ассоциациями, послужившем основой для развития новых представлений об эволюции звезд и звездных систем.

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

При изменении состояния звезд 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 непосредственного испускания массы, при котором масса звезды может существенно уменьшиться. Надо здесь, однако, отметить, что большинство наблюдаемых 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 различного 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 и 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 пребывания 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

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

---

\* В настоящем издании Добавление 1: «К вопросу об отсутствии диссоциативного равновесия в звездной системе» и Добавление 2: «О количестве поглощающего вещества в эллиптических туманностях», представляющие специальный интерес, опущены.

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 доказывалось, 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 миллиардами 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,  $\gamma$  и  $h$  Персея, Мессье 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 Лебедя. 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  $\gamma$  и  $\eta$  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  $\gamma$  и  $\eta$  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 мил-

лионами 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 сгущиванию 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  $142^\circ$  и широтой  $-14^\circ$ . Данные, приводимые Джоем [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 кометообразными 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 мате-



рии. Между прочим, почти половина звезд типа Т Тельца оказалась визуально двойными. В тех случаях, когда удавалось получить спектр спутника, 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 являются 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 расстоянии 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 не одновременно 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 двойных 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 значащих 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 карлики 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 не известны 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 15—614

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 Лебедя 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

---

\* После появления настоящей работы В. А. Амбарцумяна, в 1954 г., были открыты быстролетающие звезды типов О и В в общем звездном поле Галактики. Исследование пространственных движений трех быстролетающих звезд, обладающих максимальными скоростями (АЕ Возничего,  $\rho$  Голубя и 53 Овна), А. Блаау и В. Морганом показало, что они несколько миллионов лет назад вылетели из некоторого малого объема в ассоциации Ориона. Таким образом, наблюдения не только устранили указанную в тексте трудность, но и дали веское подтверждение идеи о возникновении звезд в результате фрагментации сверхплотных тел.

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 не известных 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 толщи 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.

\* См. примечание на стр. 219.

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 последних 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 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 не выясненных 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 двигается 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 измене-

ния 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 промежутки 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 не известны 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 прост-

ранства. 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 мы еще 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 планетар-

ных туманностей измеряются по крайней мере сотыми (если не десятыми) 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 планетарности 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. Наблюдения 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 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. Поскольку 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 Лебедя 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  $\gamma$  и  $h$  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.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. А. Амбарцумян и Г. Шайн, *Астрономический журнал*, **13**, 1, 1936.
2. П. П. Паренаго, *Астрономический журнал*, **21**, 223, 1944.
3. В. А. Амбарцумян, *Природа*, № 2, 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*, **1**, 217, 1937.
12. В. А. Амбарцумян, *Теоретическая астрофизика*, Л., 1939, стр. 224.
13. Хьюмсон и Цвикки, *Astrophysical Journal*, **105**, 85, 1947.
14. П. П. Паренаго, Доклад на совещании по звездной астрономии, М., 1947.
15. Г. И. Русаков, *Диссертация*, Л., 1947.

## 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 представле-

---

\* Доклад на конференции по переменным звездам в Ленинграде, в мае 1954 г. Переработанный текст доклада был напечатан в «Сообщениях Бюраканской обсерватории» (вып. 13, 1954). Печатается по тексту книги: В. А. Амбарцумян, Научные труды, т. 2, Изд-во АН Арм. ССР, Ереван, 1960, стр. 189—212.

В этом докладе на основе наблюдательных данных, относящихся к молодым нестационарным звездам (звезды типа Т Тельца и родственные объекты) и имеющих непосредственное отношение к процессам выделения внутризвездной энергии в их поверхностных слоях, впервые показано, что термоядерные реакции по крайней мере не всегда являются основным источником звездной энергии.



ниях 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 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 представите-

лей 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 Хьюматон [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 какой-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 T Тельца, особенно вблизи максимумов яркости этих звезд. В последней своей статье Джой [4], резюмируя свои обширные исследования, посвященные переменным типа T 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 T Тельца.

*Пример 1.* В спектре звезды UZ Тельца, относящейся к типу T Тельца, линии поглощения обычно слабы вследствие наложения непрерывной эмиссии. Однако по временам, вследствие усиления непрерывной эмиссии, они совершенно исче-

заят, 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<sup>м</sup>.5. Таким образом, эта звезда обычно, согласно Хофлит, претерпевающая неправильные изменения блеска между 13<sup>м</sup>.5 и 14<sup>м</sup>.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 В10, 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 собой 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 DN Тельца и DI Тельца. Звезда DN Тельца имеет примерно такую же видимую величину, как DD Тельца. Звезда DN Тельца весьма похожа на DD Тельца также в следующих отношениях:

а) она имеет спутника—звезду DI Тельца, также являющегося переменной типа Т Тельца,

б) в спектре звезды DN 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 T Тельца картина уже не является такой четкой и простой. Не у всех звезд типа T 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 объ-

ясняются 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 вызвать 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  $H_{\alpha}$ , в то время как в Т-ассоциации около S Единорога 70% переменных показывают яркую линию  $H_{\alpha}$ . Хотя эти данные нуждаются в уточнении (необходимом как вследствие несовершенства спектральных данных для слабых звезд, так и вследствие возможного временного исчезновения линии  $H_{\alpha}$ ), мы можем, на основании развитого 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 не способно 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 родственными 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 не известному механизму.

Приведем другой пример трудности при объяснении свечения кометообразных туманностей. Кометообразная туманность  $B10$  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  $B10$  не может вызвать сомнения, так как звезды, находящиеся за  $B10$ , почти совершенно не видны из-за поглощения света в темном облаке Тельца, а вероятность случайного проектирования на  $B10$  какой-нибудь звезды фона меньше  $0.1$ . Тем более мала вероятность случайного проектирования столь исключительной звезды на столь малую по размерам туманность  $B10$ . Согласно Струве и Свингсу [12], туманность имеет неправильный 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 наблюда-

емого. 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, свидетельствуют 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 Аро [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 Аро, 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 Гринстейном [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 Т 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 лучших 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 (большей 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 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 ДИФFUЗНЫХ ТУМАННОСТЯХ

*1. 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 Гринштейн и Хенней [20] констатировали наличие заметного непрерывного спектра. Последнее обстоятельство подтверждается Гурздяном 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  $H_{\alpha}$  необычайно резко отличается от ее вида и строения на снимке в фотографических лучах. Правда, различие между снимками в  $H_{\alpha}$  и в фотографических лучах наблюда-

ется у диффузных туманностей весьма часто. Однако обычно оно сводится к тому, что на периферии газовой туманности в лучах  $H_{\alpha}$  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  $\lambda$  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 в том, что сама звезда является переменной.

С другой стороны, мы не знаем случаев, чтобы звезда типа O9 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  $H_{\alpha}$  (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 бросающиеся в глаза

образования, которые представляют собой кометообразные туманности. В списке Шайна и Газе [25] они обозначены номерами S129 и S130. Туманность S129 имеет длину порядка пяти минут, а S130—порядка семи минут. Особенно хорошо видны эти туманности на снимке 13d второй части атласа Фесенкова и Рожковского. В районе головы туманности S129 находится пять слабых звезд. Из них наиболее яркая, судя по определению Куффеля [26], имеет фотографическую яркость  $4^m 8$ , а в районе головы туманности S130 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 Аро, 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 Аро [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  $H\alpha$  нужно обратить серьезное внимание на изучение их строения в непрерывном спектре.

#### § 4. ОБЪЕКТЫ ХЕРБИГА—АРО

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 вовсе не наблюдаются, мы встречаем здесь весьма интенсивный дублет  $\lambda$  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. 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 Аро [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 Аро, 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—Аро, 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 XY Персея, относимая обычно к типу XX 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 O9, о которой говорилось выше.

Вместе с тем, следует отметить, что имеется сходство между звездами типа XX Змееносца и звездами типа R Северной Короны.

Прежде всего, кривая блеска самой XX Змееносца характеризуется приблизительным постоянством в максимуме и, таким образом, имеется сходство кривых блеска звезд типа XX Змееносца с кривыми блеска звезд типа R Северной Короны.

Если возьмем далее такую звезду типа R Северной Короны, как VN 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 миниму-

---

\* В 1971 г. В. А. Амбарцумян выделил объекты типа FU Ориона в отдельный класс объектов, названных им фуорами, и предложил объяснение сильному возрастанию их блеска и продолжающемуся затем в течение многих лет максимуму яркости, в рамках разработанного им и изложенного в настоящем докладе представления о выходе из недр молодых звезд сгустков сверхплотной материи—носителя больших запасов внутри—звездной энергии. Стимулом для этой работы послужило открытие незадолго до этого шведским астрономом Гунаром Вейлином в созвездии Лебедя фуора, обладавшего до радикального возрастания блеска спектральными особенностями, характерными для молодых звезд типа Т Тельца.

ма 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 к типу сF5, поэтому ее с таким же правом можно считать звездой 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

---

\* 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. (Прим. автора).

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 сразу дать отрицательный ответ. В самом деле, в некоторых случаях (звезды типа UV Кита) появление непрерывной эмиссии носит взрывоподобный 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 освободиться 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.

---

\* 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. (Прим. автора).

Существенна следующая сторона этого явления: после выноса внутризвездной энергии наружу ее освобождение начинается сразу, взрывоподобно, а не нарастает постепенно. Однако самый 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 постепенное 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 изотропный 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 нескольких 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. Заметим, 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 не интенсивно, 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 каждый раз энергии порядка  $10^{33}$ — $10^{34}$  эрга, в случае звезд типа Т 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 T 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, М., 1952.
2. Джой и Хьюмсон, PASP, **61**, 133, 1949.
3. Рок, PASP, **65**, 19, 1953.
4. Джой, PASP, **66**, 5, 1954.
5. Джой, Ap. J., **102**, 168, 1945.
6. Кукаркин и Паренаго, Общий каталог переменных звезд. Изд. АН СССР, М.—Л., 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, AN., **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. Аро, *Ap. J.*, **117**, 73, 1953.
19. Гринстейн, *Ap. J.*, **107**, 375, 1948.
20. Гринстейн и Хеней, *Ap. J.*, **89**, 653, 1939.
21. Г. А. Шайн и В. Ф. Газе, Атлас диффузных газовых туманностей, М., 1952.
22. В. Г. Фесенков и Д. А. Рожковский, Атлас газово-пылевых туманностей, 1953.
23. Газе, *Известия КрАО*, **10**, 213, 1953.
24. Шарплесс, *Ap. J.*, **119**, 334, 1954.
25. Газе и Шайн, *Известия КрАО*, **9**, 52, 1952.
26. Н. А. Куффей, **105**, 403, 1937.
27. Уэстон *Ap. J.*, **58**, 48, 1953.
28. Уэстон, *Ap. J.*, **57**, 28, 1952.
29. Глизе и Вальтер, *Zs. f. Ap.*, **29**, 94, 1951.
30. Хербиг, *Ap. J.*, **111**, 11, 1950.
31. Хербиг, *Ap. J.*, **113**, 697, 1951.
32. Аро, *Ap. J.*, **115**, 572, 1952.
33. Блаау В. А., **N 11**, 405, 1952.
34. Хербиг, *PASP*, **66**, 19, 1954.
35. Шкловский, *ДАН СССР*, **90**, 983, 1953.
36. Меррил, *Ap. J.*, **116**, 21, 1952.
37. Хюбене, Де-Ягер и Цваан, Сборник „Les processus nucléaires dans les Astres“, Лувен, 1954, стр. 471.
38. Де-Ягер, Цитированный сборник, стр. 460.
39. Северный, *ДАН СССР*, **97**, 789, 1954.
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 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, 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

---

\* Печатается по тексту журнала «Вестник Академии наук СССР», № 11, 1957, стр. 45—57. В этой статье дано сжатое, но достаточно полное изложение взглядов автора на узловые вопросы звездной эволюции.

сперва весьма медленно, но по мере накопления наблюдательных данных успех в их интерпретации стал возрастать. В конце сороковых годов оформились первые значительные успехи в изучении происхождения звезд и звездных систем. В дальнейшем это привело к очень ценным результатам.

Мы хотим изложить здесь ряд интересных результатов, полученных советскими астрофизиками при решении проблемы происхождения и 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 как 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 сколь угодно 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 звезднодинамические методы для получения космогонических выводов. Это направление получило наибольшее развитие в Советском Союзе.

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

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

Все эти гипотезы оказались несостоятельными. Дело в том, что космические явления, а тем более явления, сопровождающие возникновение и эволюцию звезд, качественно отличны от процессов, происходящих в значительно меньших масштабах. Само собой разумеется, что атомы и молекулы вещества, где бы они ни находились—в нашей Галактике, в туманности Андромеды или в физической лаборатории,—обладают тождественными свойствами. Однако в космических условиях мы имеем дело со столь большими количествами 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 пра-

вильная 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 сказать, 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 возрасти, 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, со-

держалась 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. Звездодинамические исследования показали, что такой причиной должны являться случайные тесные сближения между звездами скопления. При этих сближениях они обмениваются энергией. При некоторых сближениях прирост кинетической энергии одной из звезд может оказаться настолько большим, что звезда преодолет притяжение всего скопления и уйдет из него. Такие процессы ухода звезд редки, но по истечении достаточно длительного промежутка времени скопление все же должно становиться беднее и прийти к окончательному распаду. Можно рассчитать время, необходимое для распада скоплений типа Плеяд, Гиад и других. Оно оказывается порядка нескольких миллиардов лет, но для некоторых скоплений оно короче и измеряется всего несколькими сотнями миллионов лет. Это означает, что различные скопления могли возникнуть на разных этапах жизни Галактики. Но самым интересным выводом из этих исследований, в то время еще недостаточно подчеркнутым, было то, что некоторые 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 воз-



можно, что и для этих звезд имеет место какой-то вариант закономерности группового звездообразования. Однако это нуждается в подтверждении.

### ВСЕ ЛИ ЗВЕЗДЫ АССОЦИАЦИИ ВОЗНИКАЮТ ОДНОВРЕМЕННО?

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

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

ются прямые факты, свидетельствующие о том, что многие звезды, входящие в ассоциации, выбрасывают вещество в окружающее пространство. Это истечение вещества из звезд приводит к увеличению массы туманностей. С другой стороны, было показано, что некоторые ассоциации содержат в себе более или менее симметричные туманности, обладающие большой массой и иногда имеющие кольцеобразную форму, которые расширяются со скоростями того же порядка, что и скорости расширения звездных групп в ассоциациях. С помощью наблюдений радиоизлучения нейтрального водорода удалось обнаружить известное число таких расширяющихся туманностей в ассоциациях в дополнение к тем, которые были обнаружены оптическими методами. В центральных частях некоторых из этих расширяющихся туманностей находятся группы молодых горячих звезд. Кажется 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 проявлений является звездообразование и возникновение туманностей. Однако представляло интерес искать другие проявления дозвездного вещества. Вполне возможно, что после образования звезд не все дозвездное вещество, образовавшее звезду, сразу превращается в обычное вещество звезды. Можно допустить на минуту, что в недрах молодых звезд еще сохраняется некоторая, хотя и уменьшающаяся, доля дозвездного вещества. И если дозвездное вещество, как указывалось выше, является носителем большого количества энергии, то можно допустить, что в этих молодых звездах процессы превращения дозвездного вещества будут сопровождаться бурным выделением энергии. Оказывается, что подобные процессы как раз наблюдаются у членов упоминавшихся выше Т-ассоциаций. Этими членами являются так называемые переменные звезды типа Т Тельца, а также родственные им другие вспыхивающие звезды.

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

## О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЗВЕЗД

Звезды типа Т Тельца показывают совершенно неправильные изменения блеска, достигающие значительной величины. В некоторых максимумах блеска светимость 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 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 про-

тив этого механизма выдвигаются некоторые возражения, и сейчас нельзя считать вопрос решенным. Существенно, что выделение столь больших количеств энергии, или столь большого числа частиц с высокой энергией не получило до сих пор объяснения на основе известных ядерных процессов. Поэтому можно выдвинуть предположение, что выносимое из внутренних слоев звезды вещество представляет собой какую-то часть остатков дозвездной материи, о которой говорилось выше. В таком случае возможно, что мы имеем дело также с одновременно происходящим процессом образования элементов. Факт наблюдения в атмосферах звезд типа Т Тельца линии лития, который в условиях внешних слоев этих звезд должен был бы весьма скоро исчезнуть, непосредственно свидетельствует о том, что запасы литиевых атомов возобновляются. Это как будто подтверждает предположение об образовании элементов. Здесь уместно вспомнить также о других звездах, не входящих в О-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 скоростям 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 распрост-

раняться с большей быстротой, что и соответствует наблюдениям.

### КРАБОВИДНАЯ ТУМАННОСТЬ

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

Наблюдения показали, что из центральной звезды Крабовидной туманности вырываются сгустки частиц, обладающих большими скоростями, которые затем дают непрерывную эмиссию. Здесь непосредственно наблюдается та картина, к которой мы пришли при изучении нестационарных звезд на основании косвенных данных. Энергия указанных сгустков ничего общего не имеет с обычными источниками энергии в звездных атмосферах. По-видимому, и здесь энергия выделяется в результате превращений, испытываемых дозвездным веществом. Таким образом, слабая звезда, находящаяся в центре Крабовидной туманности, вовсе не является обычной звездой. Она служит источником совершенно необычных процессов и, согласно с приведенной выше рабочей гипотезой, может оказаться остатком протозвезды. Кстати, Крабовидная туманность образовалась в результате взрыва Сверхновой, происшедшего в 1054 г., т. е. почти на наших глазах. Эта туманность в настоящее время расширяется со скоростью 1500 км/сек.

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

### ЯДРА ГАЛАКТИК

Как известно, центральные области больших галактик, например, таких как туманность Андромеды, населены преимущественно звездами, принадлежащими к сферическим подсистемам, а спиральные ветви—звездами плоских подсистем. Иными словами, по составу своего населения центральные области спиральных галактик напоминают эллипти-

ческие 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. Однако 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 раз-

меров. По-видимому, именно с таким явлением мы имеем дело, наблюдая радиогалактику в Лебеде, имеющую два ядра и испускающую в тысячи раз более интенсивное радиоизлучение, чем другие радиогалактики.

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

## 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 скоплений для проблемы происхождения и эволюции звезд.

---

\* Доклад, прочитанный на XI Сольвейской конференции, посвященной проблеме «Структура и эволюция Вселенной», в Брюсселе, в июне 1958 г. Текст доклада был опубликован в трудах конференции: *La structure et l'évolution de l'univers*, Editions Stoops, Bruxelles, 1958, стр. 241. Печатается частично переработанный текст по книге: В. А. Амбарцумян, Проблемы эволюции Вселенной, Изд-во АН Арм. ССР, Ереван, 1968 г., стр. 85—122. Обсуждение доклада опущено.

В этом докладе В. А. Амбарцумян представил наиболее полное для того времени изложение своих взглядов об эволюции галактик и их систем, основанных на развитом им принципиально новом представлении об активности ядер галактик, играющей решающую роль в их возникновении и развитии.

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 звездообразования [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 Трапедии 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 М31, М81 и М101, являются центрами в высшей

---

\* См. статью «Эволюция звезд и астрофизика» (стр. 213 настоящего сборника).

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 различных 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 энергией, распад должен произойти благодаря тому, что в результате взаимных сближений некоторые галактики должны получать положительную энергию и покидать скопление. Иными словами, в этом случае действует механизм, аналогичный тому, который имеет место в стационарных

звездных скоплениях. Однако этот механизм требует уже сроков порядка сотен миллиардов и более лет. Поскольку возраст галактик измеряется всего несколькими миллиардами лет, то значение этого механизма в большинстве случаев невелико.

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

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 МЗ1. 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 главных 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  $ab/ac$ ,  $ab/bc$ ,  $ac/bc$  заключены в пределах между  $k_0$  и  $1/k_0$ , 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 Трапедии. 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 Трапедии 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 Трапедии. Только 27 систем являются системами 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 компонент 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 также 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 нескольких кеплеровских (а значит пери-

юдических) 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 возникающих в Галактике систем типа Трапеции должно было разрушиться. Это объяснение, вместе с тем, дает возможность понять наблюдаемое в отношении звезд типов O и B0 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 O-B 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 вопроса для двойных галактик и для галактик более высокой кратности приводит в этом случае к заключению, что массы галактик, входящих в систему высшей кратности, примерно в 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  $+72 \text{ км/сек}$ . Только у галактики М 82 лучевая скорость равна  $+410 \text{ км/сек}$ . 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 лучевой скорости М 81 на  $327 \text{ км/сек}$ . 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  $436 \text{ км/сек}$  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 М/Л для М 82 (порядка 500). Учиты-



вая же, что реальные относительные скорости могут составлять значительные углы с лучом зрения, мы приходим к еще большим значениям массы М82. 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  $+7011$  км/сек,  $+33$  км/сек и  $+7229$  км/сек. Загадкой является галактика IC 3483. Если она физически связана с остальными двумя, о чем свидетельствует соединяющее все три галактики волокно, так же как и близость видимых величин IC 3481 и IC 3483, то мы прямо должны заключить, что имеем дело с галактикой, удаляющейся от группы, в которой она возникла.

Если же IC 3483 случайно проектируется на конец волокна, а на самом деле является близкой галактикой в соответствии со своей лучевой 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\*\*.

---

\* Впоследствии оказалось, что в галактике М82 наблюдаются проявления физической нестационарности грандиозных масштабов. А именно, американские астрономы Линдс и Сандейдж в 1963 г. обнаружили большие газовые массы, выброшенные из ядра этой галактики, которые в настоящее время удаляются от ее центральной области со скоростями порядка  $1000$  км/сек. Это открытие явилось блестящим подтверждением представления об активности ядер галактик.

\*\* Здесь и в дальнейшем мы исходим из значения постоянной Хаббла  $H=180$  км/сек на мегапарсек, полученной в работе Хьюмаса, Мейола и Сандейджа [14]. Согласно работе Сандейджа, доложенной на Сольвейской конференции 1958 года,  $H=75$  км/сек на мегапарсек. Однако мы не-

d) Квинтет Стефана несомненно является физической группой. При рассмотрении фотографий этой группы особенно бросается в глаза тесная связь между компонентами NGC 7318a 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.

e) 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\*.

---

сочли необходимым изменить цифры, данные в тексте, поскольку основные выводы настоящей статьи сохраняют свою силу независимо от принятия или непринятия нового значения  $H$ . (Прим. автора).

\* За время, истекшее после доклада В. А. Амбарцумяна, стали известны и некоторые другие яркие примеры кратных систем и скоплений, обладающих положительной полной энергией. Об этом подробнее см. книгу «Проблемы современной космогонии», под редакцией В. А. Амбарцумяна, «Наука», М., 1972 (2-е издание).

## §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.

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 галактик 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 *Coma*. Если мы применим теорему вириала, то для его массы получим опромную 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 не известным 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 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 радиоизлучений нейтрального водорода в линии 21 см, исходящего от скопления галактик в *Coma*, 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 ве-

личной порядка  $\sim 20$ , 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 взаимодействующих галактик с угловым расстоянием между центрами менее  $30''$ . Как указывалось, разность лучевых скоростей этой пары доходит до  $1800 \text{ км/сек}$ . 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  $3000 \text{ км/сек}$ .

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 сомнения в том, что мы имеем в данном случае дело с выбросом из ядра галактики. С другой стороны, наличие поляризации излучения указывает на то, что механизм свечения, если не полностью, то частично аналогичен механизму свечения Кра-

бовидной 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  $\lambda 3727$ , 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 от-

*носителем 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 обратили 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 O-ассоциацией или даже наложением нескольких O-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 двадцать 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 узколокализованной области и поэтому должна была иметь сначала небольшую толщину, все же, вследствие нали-

чия 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  $200 \text{ км/сек}$ . Это видно из того, что, например, в системе Кинена разность лучевых скоростей равна  $22 \text{ км/сек}$ . С другой стороны, дисперсия звездных скоростей в каком-нибудь объеме галактики должна быть порядка  $30 \text{ км/сек}$ . Отсюда следует, что ширина струи 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 собой перемычками. Такой вывод, однако, мог бы вызвать серьезные возражения. Например, известно, что в плотных скоплениях галактик, где приливные взаимодействия более вероятны, спиральных галактик очень мало, например в скоплении *Coma*. Наоборот, их много в разреженных группах и скоплениях.

Поэтому представление о приливных взаимодействиях, как причине образования волокон, должно быть оставлено. В свете высказанной выше идеи о делении галактик волокна следует рассматривать как последнее звено, связывающее между собой уже разделившиеся и 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 (см., 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, возникающих 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 Поломарского 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 прибли-

жении 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 [19], 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 перемычка 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 Местной 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 М51, но уже состоящими из крайнего населения I типа Бааде. Эти объекты, очевидно, могли возникнуть только в результате отделения значительной и, вместе с тем, компактной массы от первоначального центрального ядра. Нам кажется, в частности, что существование сверхассоциаций рассмотренного выше типа невозможно объяснить, если допустить, что входящие в них звезды возникли из чисто газовых облаков. В самом деле, газовое облако столь больших размеров, отделившись от центрального ядра, должно было бы рассеяться вследствие эффекта дифференциального вращения по всему объему галактики.

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

### § 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 находящихся в центре галактики [20]. 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 де Холста, скорость этого истечения составляет около 50 км/сек. Мощность истечения такова, что за промежутки времени порядка миллионов лет может быть выброшена масса порядка сотен тысяч масс Солнца. Таким образом, получается, что поток водорода огромной мощности вытекает из ядра, где его очень мало, по крайней мере, в диффузном состоянии. Чтобы составить правильное представление о получающихся 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 выделяет значительные массы газов, а также более плотные сгустки. По истечении

некоторого времени эти сгустки могут прийти в квазиустойчивое состояние под влиянием собственного притяжения, т. е. превратиться в звезды.

Не все превращения, о которых говорилось выше, должны заканчиваться непосредственно вслед за образованием спирального рукава или новой галактики. В некоторых случаях эти превращения могут запаздывать вследствие перехода ряда отдельных осколков в своего рода метастабильные состояния и лишь после определенного периода времени эти осколки превращаются в звезды и газ. 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 совершенно в другой плоскости. Поэтому кажется, что космогонический процесс, ведущий к образованию спиральных рукавов, повторялся в нашей Галактике дважды.

Хотя в нашем распоряжении нет данных о *пространственном* расположении спиральных ветвей других галактик, тем не менее обзор изображений большого числа внешних галактик в проекции приводит к впечатлению, что спиральная структура не всегда сосредоточена в одной плоскости. Это, в частности, касается галактик, обладающих внешней и внутренней спиральными структурами. В некоторых случаях их плоскости, по-видимому, не совпадают. Если это так, то можно думать, что после возникновения одной из спиральных структур ядро галактики, а, возможно, и осколки, удаляющиеся от него, продолжают оставаться потенциальными центрами активных космогонических процессов. С другой стороны, несомненно, существуют ядра, которые уже утратили эту способность. Наконец, существуют галактики без ядер (как, например, галактики типа Скульптора), где не может быть и речи о формировании новых структурных элементов. Такая градация интенсивности 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 разной степенью активности.

#### § 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 в) 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 ассоциации сразу привело к исчерпыванию 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 [21]. 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 водорода 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 М13 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.

**Вывод.** 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 пример-

но 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 [22] 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 [23], 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), промежуток времени, необходимый для заметных изменений в распределении скоростей звезд, уменьшается до величины порядка  $10^9$ — $10^{10}$  лет [24]. 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 звезд-

дами 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 [25], 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 проявления таких объектов и в нашей Галактике. С другой стороны, не может быть сомнений в том, что звезда AE 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 [27], 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  $180^\circ$ .

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  $90^\circ$ , то при небольшом отклонении действительного угла между моментами двух галактик от  $180^\circ$  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 направлений 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 M31 и M33 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.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Амбарцумян, Ученые записки ЛГУ, № 22, Серия математических наук (астрономия), вып. 4, 19, 1938.
2. В. А. Амбарцумян, Астрон. ж., 14, 207, 1937.
3. В. А. Амбарцумян, Эволюция звезд и астрофизика, Ереван, 1947.
4. В. А. Амбарцумян, Астрон. ж., 26, 3, 1949; A. Blaauw, VAN, 11, 405, 1952.
5. F. Zwicky, P. A. S. P. 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*, No 6, 1937.
9. В. А. Амбарцумян, Известия АН Армянской ССР, серия физ.-мат. наук, **9**, 23, 1956.
10. C. Seyfert, *P. A. S. P.*, **63**, 72, 1951.
11. E. Holmberg, *Medd. Lunds Obs.*, Ser. II, No. 136, 1958.
12. G. 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*, **29**, 344, 1956.
14. M. L. Humason, N. U. Mayall and A. R. Sandage, A. J., **61**, 97, 1956.
15. R. Minkowski, Report on the Meeting of the A. S. Pacific, Pasadena, June 21, 22, 1955.
16. D. S. Heeschen, *Ap. J.*, **124**, 660, 1956; *P. A. S. P.*, **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. Б. А. Воронцов-Вельяминов, *Астрон. ж.*, **34**, 8, 1957.
20. W. Baade, *LAU Symposium*, No. 5, Cambridge, 1958, p. 1.
21. W. Buscombe, C. C. B. Gascoigne and de G. Vaucouleurs, *Problems of the Magellanic Clouds*, *Austr. Journal of Sc. Supplement*, 1955.
22. Б. В. Кукаркин, *Исследование строения и развития звездных систем*, М.—Л., 1949.
23. V. Ambarzumian, *Observatory*, **58**, No. 732, 152, 1935.
24. L. Perek, A. N., **283**, 213, 1956.
25. L. Spitzer and M. Schwarzschild, *Ap. J.*, **114**, 385, 1951.
26. C. R. Burbidge and E. M. Burbidge, *Handbuch der Physik*, Bd. 51, (в печати).
27. C. V. Hoerner, *Zs. f. Astrophysik*, **35**, 255, 1951.



## О ПРИРОДЕ И ЭВОЛЮЦИИ ГАЛАКТИК\*

В настоящей статье мы рассмотрим основные факты внегалактической астрономии. Поскольку правильное представление о внешних звездных системах—галактиках—установилось в науке лишь около сорока лет тому назад, многие фундаментальные вопросы, относящиеся к миру внешних галактик, остаются еще не решенными. Поэтому здесь мы формулируем ряд проблем, которые кажутся нам наиболее существенными для дальнейших внегалактических исследований. При этом мы будем стараться не слишком удаляться от фактов и касаться преимущественно тех проблем, разрешение которых представляется осуществимым в обозримом будущем с помощью имеющихся средств.

Как известно, внегалактическая астрономия соприкасается с космологией, т. е. с теориями, пытающимися описать Вселенную в целом. Эти теории, несомненно, приносят известную пользу, поскольку в них исследуются некоторые решения уравнений общей теории тяготения Эйнштейна и ставится вопрос о сравнении этих решений со свойствами наблюдаемой части Вселенной. Вместе с тем они часто слу-

---

\* Лекция по приглашению (Invited Discourse), прочитанная на Генеральной Ассамблее Международного астрономического союза (МАС) в Беркли (США), в августе 1961 г. Под названием «Проблемы внегалактических исследований» лекция была опубликована в Трудах МАС: Transactions of the International Astronomical Union, vol. XIV, Academic Press, London—New York, 1962, стр. 145. Печатается частично переработанный текст по книге «Земля во Вселенной», «Мысль», М., 1964, стр. 81—104.

В этом докладе впервые дано истолкование явлению суперпозиции населений различных подсистем внутри галактик с помощью представления об активности ядер галактик.

жат ареной для очень грубых упрощений и безудержных экстраполяций.

В этой статье мы не сможем коснуться анализа этих теорий и вопроса их дальнейшего развития, хотя мы считаем, что критический обзор выполняемых в этой области работ был бы весьма ценным. Тем не менее факты и проблемы, которые затронуты ниже, должны иметь значение также для космологических теорий.

## I. ГЛАВНЕЙШИЕ ФАКТЫ, СВЯЗАННЫЕ С РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ВЕЩЕСТВА

Одним из свойств окружающего нас мира является то, что большая часть наблюдаемого в нем вещества сосредоточена в звездах. Другие тела содержат лишь небольшую часть всей наблюдаемой массы.

Важнейшим фактом внегалактической астрономии является то, что наблюдаемые звезды, в свою очередь, в своем подавляющем большинстве входят в состав звездных систем, носящих название галактик.

Численность звездного населения галактик и их размеры варьируют в необычайно широких пределах. Сверхгигантские системы типа тех двух наиболее ярких галактик, которые находятся в центре скопления в Волосах Вероники (NGC 4874 и NGC 4889), имеют фотографические абсолютные величины, доходившие до  $-22$ , и содержат сотни миллиардов звезд, в то время как карликовые системы типа галактики в Скульпторе имеют абсолютные величины порядка  $-11,0$  и содержат, по-видимому, лишь несколько миллионов звезд. К карликовым галактикам примыкают, однако, системы еще более низкой светимости, которые могут быть названы субкарликовыми галактиками. Представителем таких систем является галактика в Козероге, открытая Цвикки, и имеющая абсолютную фотографическую величину порядка  $-6,5$ . Следует думать, что эта система содержит самое большее несколько десятков тысяч звезд. Таким образом, эта система более чем в десять миллионов раз беднее сверхгигантских галактик; по числу звезд она уступает даже многим шаровым скоплениям.

Что касается диаметров галактик, то они, как правило, заключены в пределах от 50 000 парсеков для сверхгигантов; до 500 парсеков для субкарликов.

Гигантские и сверхгигантские галактики с диаметрами от 5 000 парсеков до 50 000 парсеков имеют высокую поверхностную яркость (выше чем  $24^m.0$  на квадратную секунду дуги), а также *большую концентрацию светимости к центру*. Среди карликовых галактик встречаются наряду с объектами, имеющими высокую поверхностную яркость, также и объекты низкой поверхностной яркости. Однако существенно, что наряду с карликовыми системами, имеющими большой градиент поверхностной яркости от края к центру, обнаружены галактики, у которых этот градиент очень мал, так что на снимках такая система представляется почти равномерным по яркости диском\*.

Тот факт, что подавляющее большинство звезд входит в состав галактик, приобретает глубокое значение, если мы примем во внимание, что галактики являются в первом приближении изолированными друг от друга системами. Обычно расстояние между соседними галактиками во много раз превосходит диаметры их центральных, наиболее плотных частей. Вместе с тем отдаленные от центра и крайне разрежен-

---

\* Примерами галактик, обладающих малым градиентом плотности и входящих в Местную группу, являются открытые Шепли карликовые звездные системы в Скульпторе и Печи. Поверхностные яркости этих систем необычайно низки. В дальнейшем Бааде показал, что принадлежащие к Местной группе галактики NGC 147 и NGC 185 также имеют малый градиент плотности. Поверхностная яркость у этой пары галактик значительно выше, чем у систем Скульптора и Печи. Промежуточное значение поверхностной яркости имеют другие два члена Местной группы: Секстант В и Лев 2. Вместе с тем у них градиент плотности также очень мал. В скоплении Девы встречается большое число объектов низкой поверхностной яркости и с малым градиентом плотности. Некоторые из них по своим линейным размерам приближаются к средним по величине галактикам. Например, галактика IC 3475 наряду с весьма низкой поверхностной яркостью обладает ничтожным градиентом плотности, а ее диаметр достигает 5 000 парсеков. Таким образом, эта галактика по своим размерам намного превосходит аналогичные объекты Местной группы.

Тем не менее следует отметить, что относительно большие по размерам объекты с малым градиентом плотности и низкой поверхностной яркостью очень редки. Так, например, в известном скоплении в Раке наибольшая из подобных галактик имеет линейный диаметр около 2 500 парсеков. (Прим. автора).

ные части галактик нередко проникают друг в друга. Наряду с этой топографической изолированностью мы должны отметить *динамическую замкнутость* галактик как звездных систем. Под динамической замкнутостью мы понимаем то свойство, что движения звезд в каждой галактике определяются в основном их взаимодействием с другими членами той же галактики. Отметим вместе с тем, что это условие динамической замкнутости выполняется лишь в некотором приближении. Взаимные возмущения близких друг к другу звездных систем, выбросы из центральных частей галактик, о которых речь будет ниже, являются случаями большего или меньшего нарушения замкнутости.

Подобно тому как звезды входят в состав галактик, галактики, в свою очередь, входят в состав таких систем галактик, как скопления галактик, группы галактик и кратные галактики.

Если два десятилетия назад принималось, что, помимо скоплений и групп галактик, существует общее поле, куда входит большинство галактик (подобно тому, как в нашей звездной системе имеется общее звездное поле, куда вкраплены скопления и ассоциации), то в настоящее время само существование общего поля находится под сомнением. Во всяком случае, в отношении галактик высокой светимости можно утверждать, что подавляющее большинство их входит в состав скоплений, групп и кратных систем.

Наблюдаемые нами скопления разделяются на два типа: *сферические скопления* с правильным, симметричным распределением галактик около центра и *рассеянные скопления*, имеющие большей частью неправильное распределение галактик. Население сферических скоплений состоит в основном из эллиптических галактик. Рассеянные скопления содержат высокий процент спиралей. К рассеянным скоплениям тесно примыкают *группы галактик*, подобные Местной группе или группам вокруг М 101 и М 81.

Так, например, группы галактик, связанные с М 101 и М 81, фактически не содержат ни одной эллиптической галактики. Они состоят только из спиралей и неправильных галактик. Группа галактик в Скульпторе, исследованная Вокулером, содержит только галактики типа Sc и неправильные. Наша Местная группа также не содержит эллипти-

ческих галактик высокой светимости, но в ней имеются эллиптические галактики низкой и умеренной светимости.

Интересно отметить также, что наша Местная группа по существу состоит из двух очень небольших групп, приближающихся по своим масштабам к кратным галактикам. Первая группа включает нашу Галактику, Большое и Малое Магеллановы Облака и, по-видимому, некоторые галактики типа системы в Скульпторе. Вторая группа содержит туманность Андромеды с ее четырьмя спутниками и М33. Однако такое разделение можно считать установленным лишь для галактик высокой и умеренной светимости.

Что касается карликовых галактик, то не исключена возможность, что они непрерывно заполняют все пространство Местной группы. Добавим, что полная масса всей Местной группы определяется в основном двумя галактиками, являющимися по существу центрами упомянутых двух подгрупп, т. е. массой М31 и массой нашей Галактики.

В некоторых случаях богатые скопления галактик, содержащие большое количество членов, иногда встречаются по двое, по трое, образуя кратные скопления галактик. Выше указывалось, что галактики, как правило, являются изолированными друг от друга звездными системами. Однако заслуживают внимания случаи, когда эта изолированность нарушается. Отметим здесь три категории подобных объектов.

**А. Взаимодействующие галактики.** Это те случаи, когда две галактики находятся близко друг от друга и присутствие одной серьезно влияет на строение другой галактики. Многочисленные примеры взаимодействующих галактик приведены в атласе Б. А. Воронцова-Вельяминова, который много сделал в области изучения этих интересных объектов. При этом возможны два толкования наблюдаемых взаимодействий: 1) приливное воздействие и 2) разделение совместно возникших двух галактик. В последнем случае наблюдаемые «взаимодействия» следует рассматривать как последствия процесса деления.

**Б. Пары галактик, связанные мостами или перемычками.** Многочисленные примеры этого рода приведены в статьях

Цвикки. Произведенные последние исследования показали, что указанные перемиčky состоят из звезд.

К перемичкам примыкают струи, выходящие из центральных областей некоторых сферических галактик, которые содержат голубые сгущения, являющиеся карликовыми галактиками\*. Получается, что и здесь струя, соединяющая большую галактику с карликовой, напоминает перемичку. В этих случаях нельзя сомневаться в том, что карликовая галактика отделилась от центрального ядра основной галактики. Поэтому кажется более правдоподобным считать, что мосты и перемиčky являются вообще результатом генетического процесса возникновения двух галактик из одной.

**В. Радиогалактики.** Как известно, в отношении этих объектов было высказано предположение, что здесь мы наблюдаем случайное столкновение двух независимых звездных систем. Допускалось, что энергия радиоизлучения имеет своим источником энергию столкновения двух газовых масс, входящих соответственно в каждую из галактик. Факты, однако, противоречат этой гипотезе. Все данные говорят в пользу того, что радиогалактики—это некоторый, может быть очень короткий, этап в процессе внутреннего развития галактик очень высоких светимостей (галактик-сверхгигантов).

По-видимому, радиоизлучательная активность галактик тесно связана с возникновением в них новых образований типа сгущений и струй (выбрасываемых из центра), спиральных рукавов и даже целых новых галактик. Иными словами, в некоторых случаях идет процесс деления ядра галактики и возникновения новой галактики в недрах старой. Поэтому часто радиогалактики являются сверхтесными системами, состоящими из старой галактики и новых образований, причем последние наблюдаются обычно еще погруженными в старую галактику.

Следует отметить, что все перечисленные выше виды нарушения изолированности галактик, взятые вместе, составляют лишь небольшой процент общего числа галактик. Есть много оснований думать, что эти нарушения имеют место

---

\* К числу галактик высокой светимости, из центральных областей которых выходит струя, содержащая голубые сгущения, относятся NGC 3561 и IC 1182. (Прим. автора).

лишь на определенном этапе развития галактик—тогда, когда возникают новые галактики.

Несмотря на то, что в изучении пространственного распределения галактик достигнуты серьезные успехи, много важнейших вопросов остается нерешенными. Отметим некоторые из них.

А. Образуют ли, как правило, скопления галактик, в свою очередь, системы более высокого порядка типа сверхскоплений или Супергалактики?

Несомненно, наша Местная Галактика входит в состав некоторой группы скоплений, в центре которой в качестве ее ядра находится большое скопление в Деве. Эта большая пространственная группировка была названа Вокулером Супергалактикой. Ее размеры порядка 20 миллионов парсеков. Однако мы пока ничего не можем сказать о динамическом единстве этой системы или о наличии сил, которые могли бы поддерживать такое единство.

Вместе с тем весьма интересно, что существование сколько-нибудь большого числа подобных супергалактик вовсе не бросается в глаза при изучении распределения галактик на небесной сфере. При рассмотрении этого вопроса надо учесть, однако, существование двух мыслимых возможностей: 1) промежутки между супергалактиками велики по сравнению с диаметрами самих супергалактик и 2) эти промежутки того же порядка, что и диаметры супергалактик.

В первом случае многие из таких супергалактик должны четко наблюдаться в проекции на небесную сферу в качестве изолированных образований. Во втором случае мы будем наблюдать в проекции на небе в виде изолированных систем лишь небольшое число относительно близких к нам подобных образований, и при поверхностном изучении вопроса трудно будет сделать заключение о существовании далеких супергалактик.

Наблюдения дают прямое указание на неравномерности в распределении скоплений и групп галактик, что в известной степени может быть объяснено существованием супергалактик. В то же время можно считать, что мы наблюдаем вблизи от нас лишь несколько изолированных облаков, состоящих из большого числа сгущений. При этом надежно установлено лишь существование на южном небе большого облака, про-

стирающегося в пределах галактических долгот от  $160^\circ$  до  $240^\circ$  при галактической широте  $-40^\circ$ \*

Эти два факта говорят, что осуществляется вторая альтернатива, т. е. супергалактики существуют, но расстояния между ними примерно такого же порядка, как и их диаметры.

Хотя, таким образом, приходится согласиться с существованием отдельных супергалактик, следующие вопросы остаются невыясненными. Какой процент скоплений галактик входит в эти системы более высокого порядка, выражена ли тенденция к сгущиванию скоплений одинаково сильно у двух известных типов скоплений (сферические и рассеянные). На эти вопросы можно будет ответить лишь на основании подробных фотометрических и статистических исследований.

---

\* Неравномерность в распределении галактик по небу, помимо той, которая вызвана поглощением в нашей Галактике, четко обозначается уже в случае галактик каталога Шепли и Эймс (предельная звездная величина 13,0). Эта неравномерность связана в основном с существованием местной Супергалактики. Еще более ярко выражена неравномерность в результатах подсчетов Шена и Виртанена (предельная звездная величина 18,4). При этом неоднородности мелкого масштаба обусловлены сосредоточением галактик в скоплениях. Однако имеются и более крупные неоднородности, которые вызваны тенденцией скоплений образовывать группы, подобные супергалактикам.

Согласно данным Цвикки и других авторов, неравномерности в распределении галактик распространяются до предела, достигаемого с помощью Паломарского телескопа системы Шмидта (почти до 20-й звездной величины). В качестве примера можно привести большие облака галактик в районе скопления Северной Короны. Однако для изучения тенденции скоплений к сгущиванию представляет большой интерес исследование распределения центров скоплений галактик. Такое исследование было произведено Абелем по снимкам Паломарского атласа. Полученные им результаты подтверждают неоднородность в распределении скоплений.

Цвикки считает, что основной причиной наблюдаемых неоднородностей в распределении скоплений является клочковатое поглощение межгалактического пылевого вещества. Его аргументы в пользу наличия в определенных направлениях межгалактического поглощения, по-видимому, убедительны. Однако далеко не все отклонения от однородности могут быть таким образом объяснены. Поэтому приходится считаться с реальной неравномерностью в распределении галактик на самых больших расстояниях от нас. (Прим. автора).



Б. В какой степени галактики низкой светимости повторяют пространственное распределение галактик высокой светимости. Как указывалось выше, сосредоточенность галактик в скоплениях довольно хорошо установлена по отношению к объектам высокой светимости. Однако объекты низкой светимости, начиная с расстояний в несколько миллионов парсеков, должны совершенно теряться среди галактик отдаленного фона, и решение вопроса по отношению к ним встречает известные затруднения. Но об одном классе объектов низкой светимости, именно галактиках низкой поверхностной яркости, кое-что можно сказать на основании результатов Ривса, который установил, что распределение объектов низкой поверхностной яркости в скоплении Девы в грубых чертах повторяет распределение галактик высокой светимости. С другой стороны, мы не можем еще надежно установить составляют ли галактики предельно низкой поверхностной яркости (системы типа Скульптора или объект Цвикки в Козероге) общее метагалактическое поле или концентрируются в скоплениях и группах.

В. Супергалактики, о которых говорилось выше, являются объектами с диаметром порядка двадцати миллионов парсеков. Если они представляют собой наиболее крупные неоднородности в распределении галактик, то можно ожидать, что пространственные ячейки размером в 50 или 100 миллионов парсеков уже будут приблизительно равны друг другу по количеству содержащегося в них вещества (галактик). Однако возможно, что существуют неоднородности более крупного масштаба. Вопрос этот может быть решен только на основании исследования распределения слабых скоплений галактик (до 21-й звездной величины) или же на основании исследования распределения внегалактических радиоисточников. Решение этого вопроса крайне важно для обоснования тех или иных космологических теорий. Сейчас можно только утверждать, что нет никаких указаний, оправдывающих постулат об однородности, вводимый обычно космологами.

Г. Выше уже упоминалось о наличии серьезных свидетельств в пользу существования межгалактической пылевой материи. В связи с этим следует вообще указать на жела-

тельность исследования всех видов межгалактического вещества. Уже сейчас можно говорить о реальности некоторых из этих видов.

1. Светлая межгалактическая материя, заполняющая иногда центральную часть объема, занимаемого скоплениями галактик. Все данные говорят о том, что это светлое вещество, так же как и наблюдаемые часто в парах галактик мосты и перемычки, состоят из звезд.

2. Межгалактические шаровые скопления, отдельные представители которых обнаружены на расстоянии свыше 100 000 парсеков от нас.

3. Выброшенные из недр галактик гигантские облака релятивистских электронов. Радиоисточник Центавр А, например, состоит из трех подобных облаков, а источник Лебедь А—из двух. Каждое из таких облаков по своим размерам превосходит нормальные галактики. Многие из этих облаков успели, несомненно, в прошлые эпохи рассеяться в межгалактическом пространстве.

4. Поглощающее пылевое вещество. Однако мы не имели данных о размерах отдельных облаков пылевых масс.

5. Нейтральные газовые массы, которые, однако, присутствуют в столь небольшом количестве, что испускаемое ими излучение (например, в линии  $\lambda = 21$  см) до сих пор не удалось уверенно обнаружить.

Нет сомнения, что каждый из этих видов межгалактического вещества заслуживает специального исследования.

## II. ГЛАВНЕЙШИЕ ФАКТЫ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К КИНЕМАТИКЕ И ДИНАМИКЕ СИСТЕМ ГАЛАКТИК

Наши знания о движениях в мире галактик ограничиваются сведениями о лучевых скоростях около тысячи галактик. Никаких данных о тангенциальных скоростях мы не имеем. Тем не менее имеющиеся данные о лучевых скоростях, добытые почти целиком на обсерваториях Маунт Вилсон, Паломарской и Ликской, ставят перед нами самые трудные проблемы, с какими имела дело астрономия.

Вся совокупность наблюдаемых галактик представляет собой часть некоторой грандиозной системы, которую мы называем Метагалактикой. Это понятие Метагалактики имеет смысл независимо от ответа на вопрос о существовании галактик вне этой системы. Важнейшим выводом из наших сведений о лучевых скоростях галактик является факт расширения Метагалактики.

Выведенный из эмпирических данных закон Хаббла

$$V_r = H \cdot r$$

( $V_r$ —лучевая скорость галактики,  $H$ —постоянная,  $r$ —расстояние до галактики), соблюдающийся с точностью до небольших флуктуаций для значений  $r$ , достигающих почти до двух миллиардов парсеков, говорит о приблизительной однородности наблюдаемого расширения. Все попытки найти красному смещению какое-либо объяснение, помимо эффекта Доплера, оказались искусственными и безрезультатными. Поэтому при рассмотрении всех вопросов, касающихся природы и особенно эволюции Метагалактики, мы должны учитывать явление расширения.

Конечно, закон Хаббла справедлив лишь в среднем. В дополнение к скорости, определенной по формуле Хаббла, каждое скопление галактик и каждая галактика по отношению к центру тяжести своего скопления имеют свои пекулярные скорости.

Так, в Местной группе, где расстояния между галактиками малы, относительные скорости определяются главным образом пекулярными движениями отдельных членов. Но уже ближайшие скопления галактик и ближайшие внешние группы от нас удаляются, что свидетельствует о малости пекулярных скоростей этих скоплений и групп по сравнению с систематическими скоростями удаления по формуле Хаббла.

Численная величина постоянной  $H$  имеет важное значение, поскольку, зная ее, можно определять расстояния до самых отдаленных скоплений. К сожалению, эта величина точно не известна. Можно с большой степенью вероятности утверждать, что она лежит где-то в пределах

$$60 \frac{\text{км/сек}}{\text{мегапарсек}} < H < 140 \frac{\text{км/сек}}{\text{мегапарсек}},$$

а с некоторым риском, что оно заключено в промежутке

$$70 \frac{\text{км/сек}}{\text{мегапарсек}} < H < 100 \frac{\text{км/сек}}{\text{мегапарсек}}$$

в соответствии с результатами Сандейджа (1958). Мы не будем входить в рассмотрение вопросов, связанных с определением значения  $H$ . Отметим лишь, что при всех условиях закон Хаббла позволяет хорошо оценивать *относительные расстояния*.

Вторым важным фактором, относящимся к движениям галактик, является наличие некоторой дисперсии скоростей в каждом из скоплений галактик, что связано с внутренними движениями в этих скоплениях.

Если скопление находится в стационарном состоянии или по прошествии некоторого времени должно прийти в стационарное состояние, то его полная энергия  $E$  должна быть отрицательной.

$$E = T + U < 0,$$

где  $T$  и  $U$ , соответственно, представляют кинетическую и потенциальную энергию системы. Если же  $E > 0$ , то такая система не может прийти в стационарное состояние и, по крайней мере, часть ее членов должна уйти в бесконечность.

Исследования последних лет показали, что для некоторых групп и кратных систем кинетическая энергия внутренних движений, определенная по лучевым скоростям, во много раз превосходит вероятные значения абсолютной величины потенциальной энергии, исчисленной в предположении, что основная масса скопления сосредоточена в ее галактиках и что отношения массы к светимости  $f = M/L$  для данного типа галактик того же порядка, как в тех случаях, когда это отношение удавалось определять на основании исследования вращения галактик. Отсюда было сделано заключение, что некоторые группы и скопления имеют положительную энергию и должны непосредственно рассеяться в пространстве. Такой вывод пришлось делать, например, по отношению к скоплениям галактик в Деве и Геркулесе, а также к сравнительно близкой от нас группе в Скульпторе. Последний случай, проанализированный подробно Вокулером, является особенно разительным, так как кинетическая энергия пре-

восходит вычисленное абсолютное значение потенциальной, по-видимому, на полтора или два порядка. Поскольку положительная энергия должна приводить к уходу части членов скопления, а иногда и к полному рассеянию скопления, можно думать, что имеется нечто общее между явлениями нестационарности скоплений, с одной стороны, и явлениями расширения Метагалактики—с другой.

Промежуточную роль в этом отношении должны играть системы типа Местной Супергалактики. Как известно, составляющие ее части удаляются друг от друга. Например, скопление в Деве или группа, связанная с М 81, удаляются от Местной группы галактик.

То, что было связано относительно знака полной внутренней энергии *скоплений галактик*, остается справедливым и в отношении *кратных систем*. По-видимому, некоторые кратные системы имеют положительные полные энергии, что говорит о молодости соответствующих компонентов (возраст порядка  $10^9$  лет).

Однако независимо от знака полной энергии обращает на себя внимание еще одна особенность совокупности кратных (тройных, четверных и т. д.) галактик. Как известно, подавляющее большинство *кратных звезд* имеют конфигурации «обыкновенного» типа, в то время как конфигурации типа «Трапеции Ориона» составляют незначительный процент ( $\sim 10\%$ ). Среди *кратных галактик* примерно половина систем имеет конфигурации типа Трапеции. Поскольку системы типа Трапеции, как правило, нестабильны, мы можем заключить, что время, прошедшее с момента образования этих кратных групп, превосходит не более чем в несколько раз период обращения в такой кратной системе, который в свою очередь заключен в пределах от  $10^9$  до  $5 \cdot 10^9$  лет.

Наконец, следует отметить, что предположение об отрицательности энергии всех двойных галактик изредка приводит к невероятно большим значениям масс компонентов, поэтому имеются основания допустить, что некоторые из двойных галактик также имеют положительную энергию.

В сверхтесных системах, каковыми являются радиогалактики, наблюдаются значительные разности скоростей компонентов. Так, например, в радиогалактике Персей А эта разность достигает  $3000$  км/сек. Таким образом, и эти пары обладают положительной энергией. Согласно нашему взгляду

ду, мы здесь наблюдаем образование такой пары из одной галактики.

Дальнейшее накопление данных о лучевых скоростях галактик позволит разрешить многие нерешенные вопросы их кинематики и динамики. Некоторые из этих нерешенных вопросов перечислены ниже:

А. Более точное определение постоянной закона красного смещения. Это означает уточнение шкалы внегалактических расстояний.

Б. Определение характера зависимости красного смещения от расстояния при очень больших значениях последнего. Несомненно, мы должны наблюдать нарушение линейной зависимости. Однако в какую сторону имеет место отклонение от линейности, является ли величина этого отклонения независимой от направления весьма важно для решения фундаментальных космологических вопросов.

В. Очень важно определить пекулярные скорости центров тяжести отдельных скоплений галактик, т. е. отклонение их наблюдаемых скоростей от формулы Хаббла. Это имеет существенное значение для решения вопросов о генетической связи между соседними скоплениями. Но для определения указанных отклонений нужно научиться находить более точные расстояния отдаленных скоплений, не пользуясь законом Хаббла.

Г. Для решения многих вопросов динамики скоплений галактик и кратных галактик необходимо уметь определять массы последних. К сожалению, в случае отдаленных галактик, входящих в указанные системы, мы определяем массы статистически, исходя из предположений об отрицательном знаке энергии и применимости теоремы вариала. Нужно определить массы галактик, входящих хотя бы в ближайшие скопления, независимо от этого. Вместе с тем необходимо найти способы оценки по крайней мере верхней границы возможных межгалактических масс в каждой системе (скопление или группа).

Д. Наиболее разительное несоответствие между массой системы, определенной из теоремы вариала, и массой, найденной из значений светимостей индивидуальных членов сис-

темы, установлено в случае некоторых рассеянных скоплений и групп галактик (скопления в Деве, Геркулесе, группы галактик в Скульпторе, Льве и т. д.). В то же время, по мнению Цвикки, большие сферические скопления не показывают никаких признаков расширения. Однако в отношении сферического скопления в Волосах Вероники недавно Агекияном сделан противоположный вывод.

Для полного решения этого вопроса надо получить возможно большее число лучевых скоростей в нескольких ближайших больших сферических скоплениях.

### III. ГЛАВНЕЙШИЕ ФАКТЫ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ПРИРОДЕ ГАЛАКТИК И ИХ СКОПЛЕНИЙ

Наблюдения показывают, что среди известных нам галактик встречается огромное разнообразие форм и внутренних свойств. Для того чтобы иметь возможность разобраться глубже в природе галактик, весьма важно иметь достаточно полную и вместе с тем простую систему классификации галактик. Совершенно очевидно, что чем более глубокое физическое значение будут иметь критерии, положенные в основу этой классификации, тем более полезной будет она для решения вопросов внегалактической астрономии.

Наиболее распространенная в настоящее время классификация Хаббла основана на изучении внешних форм наблюдаемых галактик. Она оказалась чрезвычайно полезной, ибо в отношении подавляющего большинства галактик вся наша информация до последнего времени сводилась к данным о внешней форме, интегральном блеске и видимом диаметре. Последние два параметра не являются сами по себе характеристиками системы, пока не известно расстояние. Однако за последние годы мы получили возможность приближенно судить об абсолютной яркости и линейном диаметре очень большого числа галактик, входящих в богатые скопления, поскольку стало известно, что наиболее яркие члены этих скоплений всегда являются сверхгигантами, абсолютные величины которых порядка  $-21,0$ . Сравнивая эту абсолютную величину с видимой величиной наиболее ярких членов, мы можем очень грубо оценить расстояние и тем самым светимости и абсолютные размеры всех остальных членов. Как указывалось в начале статьи, диапазон светимостей га-

лактик в скоплениях очень велик. Постепенно стало ясно, что отнесение данной галактики к категории сверхгигантов, гигантов, объектов умеренной светимости, карликов или объектов крайне низкой светимости (типа объекта Цвикки в Козероге) во многих случаях гораздо существеннее, чем задание ее формы. Вспомним еще раз, что галактика-сверхгигант содержит в десятки миллионов раз больше звезд, чем какая-либо галактика крайне низкой светимости.

Для понимания свойств галактики важное значение имеет изучение природы ее центральной части и, в частности, вопрос о наличии в ней небольшого по величине центрального ядра. Желательно, чтобы новые попытки построения классификации учитывали значение светимости, а также чтобы задание класса определяло роль центральных частей и возможно самого ядра. Наконец, возможно, что имеются другие, еще неизвестные параметры, которые, однако, крайне важны для описания состояния галактики.

Недавно предложенная классификация Моргана, учитывающая степень концентрации светимости, в известной степени отвечает одному из этих пожеланий. Однако задание класса Моргана оставляет светимость неопределенной. В последних работах Ван ден Берга делается попытка ввести параметр, выведенный из наблюдаемой формы галактики, но по существу определяющий ее светимость. Это очень удачный принцип. К сожалению, однако, классификация Ван ден Берга не является универсальной и охватывает только спирали более поздних типов. Поэтому следует думать, что в дальнейшем будут предложены новые классификации, ставящие задачу определить существенные параметры каждой галактики.

Важнейшим достижением второй четверти нашего столетия явилось представление о существовании подсистем в галактиках (Линдبلاد, Кукаркин, Бааде) и разных типов звездного населения. В некоторых галактиках, в системах E0, мы имеем довольно большую однородность населения. В таких случаях можно утверждать, что вся галактика состоит только из одной подсистемы. Это справедливо, в частности, по отношению к таким членам Местной группы, как система в Скульпторе, галактика M 32 и NGC 147. В отличие от мнения, когда-то высказанного Бааде, по-видимому, в природе мы не наблюдаем систем, состоящих целиком из населения I типа (население спиральных рукавов). Однако во



многих случаях галактики представляют собой *суперпозицию двух или нескольких подсистем*, содержащих разные типы населения.

Так, линзовидные галактики (S0) состоят из двух подсистем, состоящих соответственно из звездного населения сферической составляющей и диска. Гигантские спирали типа M31 состоят из сферической составляющей, диска и спиральных рукавов. Возможно, что необходимо более подробное деление. Для нас, однако, важно, что в данном случае имеет место суперпозиция различных подсистем.

Имеющиеся данные говорят о том, что населения различных подсистем проходят различные, независимые друг от друга пути эволюции.

Есть основания считать, что средний возраст звезд различных подсистем также различен. Получается, что, если не учитывать динамического воздействия, каждая из подсистем живет своей отдельной жизнью. Именно это является важным при описании галактик как основных систем, получившихся как бы в результате *простой суперпозиции подсистем*.

Об относительной независимости различных подсистем, входящих в состав одной и той же галактики, свидетельствует то, что степень развития одной из подсистем (в смысле богатства подсистемы и ее размера) не зависит от степени развития другой подсистемы.

Так, например, сферическая подсистема галактики M31 по своему богатству и размерам не отличается сильно от нормальной галактики типа E0, обладающей абсолютной величиной около  $-19,0$ . Между тем последняя вовсе не содержит населения плоской подсистемы и спиральных рукавов, в то время как M31 имеет мощные спиральные рукава и богатое население диска.

С этой точки зрения интересны также те системы, которые занимают промежуточное положение, т. е. такие, в которых одна из подсистем развита очень сильно, в то время как другая сравнительно бедна. Замечательным примером этого является галактика NGC 5128 (радиоисточник Центавр А), которая на передержанных снимках представляется гигантской эллиптической галактикой, однако на самом деле в своей центральной части содержит слабо развитую плоскую подсистему, в которую входит много поглощающего вещества. Как показали исследования Бербиджей, основанные на

измерениях лучевых скоростей в этой плоской подсистеме, экваториальная плоскость последней приблизительно перпендикулярна к экваториальной плоскости эллиптической подсистемы. Это является хорошей иллюстрацией к утверждению о независимости подсистем. Другим интересным примером является галактика NGC 3718. Спиральные рукава этой галактики обладают малой мощностью, однако в отличие от NGC 5128 простираются далеко за пределы объема, занимаемого сферической подсистемой. В этой галактике плоскость сосредоточения темного вещества наклонена к экваториальной плоскости эллиптической подсистемы примерно на  $25^\circ$ , что также говорит о независимости подсистем.

Можно было бы привести и противоположные примеры, когда сферическая подсистема развита весьма слабо, а плоская представлена очень сильно. Очевидно, что таким примером может служить Большое Магелланово Облако. То, что в этом Облаке имеется сферическая подсистема, следует хотя бы из присутствия по крайней мере трех десятков шаровых скоплений, сходных с шаровыми скоплениями в нашей Галактике и в М 31. К сожалению, однако, другие объекты сферических подсистем очень трудно выделить на фоне населения плоской составляющей. Поэтому трудно сказать, на какие эллиптические системы похожа сферическая составляющая Большого Магелланова Облака. Судя по распределению шаровых скоплений и по их количеству, это должно быть эллиптическая галактика умеренной светимости (минус 16-й абсолютной звездной величины), обладающая малым градиентом плотности от центра к краю. Известно как раз, что при переходе от сверхгигантских эллиптических галактик к эллиптическим умеренной и низкой светимости все чаще встречаются объекты, показывающие малый градиент плотности.

Выше мы говорили о сравнительной независимости различных подсистем, входящих в одну и ту же галактику. Однако в одном отношении связь между подсистемами почти постоянно соблюдается с очень большой строгостью. Мы имеем в виду наличие общего центра. Центр сферической подсистемы обычно совпадает с центром диска и вместе с тем с областью, из которой выходят спиральные рукава. Как известно из наблюдений ближайших галактик высокой светимости, в этом центре располагается обычно *ядро*, имеющее

размеры всего в несколько парсеков (меньше, чем диаметр обычного шарового скопления). Естественно возникает мысль, что *происхождение отдельных почти независимых друг от друга подсистем каким-то образом связано с наличием указанного ядра.*

В некоторых галактиках следы ядер не обнаружены. Так обстоит дело, например, в случае NGC 185 или в случае системы в Скульпторе. Однако обратим внимание на абсолютные величины рассматриваемых ядер. У М 32 абсолютная фотографическая звездная величина ядра равна  $-11,6$ , у М 31  $-11,1$ , у М 33  $-10,3$ , у NGC 147  $-5,0$ . Создается впечатление, что абсолютная величина ядра уменьшается с уменьшением градиента плотности. Поэтому следовало как раз ожидать, что у NGC 185 и в системе типа Скульптора, так же как, может быть, в Магеллановых Облаках, ядро должно иметь еще более низкую светимость, чем в NGC 147. Если эта светимость порядка  $-2$ , то очевидно, что ядро может затеряться среди звезд. Отметим, что в Магеллановых Облаках ядра будут незаметными даже в случае, если у них абсолютная фотографическая звездная величина составляет  $-5$ . Поэтому преждевременно делать окончательный вывод об отсутствии ядер в этих системах. Однако если ядра в них существуют, то они должны обладать малой мощностью.

Выше указывалось, что концентричность подсистем в каждой галактике соблюдается весьма строго. Однако имеются отдельные случаи нарушения концентричности. В качестве примера можно привести галактику NGC 4438 в скоплении Девы, где две подсистемы явно смещены по отношению друг к другу.

Имеется некоторое сходство между галактиками и скоплениями галактик. Оно выражается в том, что подобно тому как в галактиках звездное население можно грубо разделить на два основных типа, в скоплениях галактик их члены также можно отнести к двум различным типам населения. К первому типу относятся спиральные галактики и неправильные, ко второму—эллиптические и линзовидные (S0).

Богатые сферические скопления галактик типа скопления в Волосах Вероники содержат главным образом население типа II. Рассеянные облака галактик, подобные близкому к нам облаку в Большой Медведице, почти не содержат эллиптических галактик высокой светимости. Близкая к нам

группа галактик в Скульпторе, исследованная Вокулером, не содержит не только эллиптических галактик, но и галактик типов S0, Sa и Sb. В эту группу входят только спирали поздних подклассов. Рассеянное скопление в Деве содержит как гигантские эллиптические галактики, так и гигантские спирали.

Спрашивается, можно ли в этом случае говорить о суперпозиции различных подсистем в одном скоплении. Нужно признать, что не во всех случаях наблюдаются признаки сложения двух квазинезависимых субскоплений в одно скопление. Однако в некоторых случаях имеются явные свидетельства в пользу этого. Так, в скоплении Волос Вероники одна из центральных галактик (NGC 4874), являющаяся сверхгигантом типа S0, явно окружена симметричным облаком эллиптических галактик меньших светимостей. Внешне эта группа очень похожа на галактику NGC 4486, окруженную шаровыми скоплениями. Только в этом случае шаровые скопления заменены эллиптическими галактиками умеренной светимости. И вот эта группа эллиптических галактик с NGC 4874 в центре как бы наложена на большое и богатое скопление галактик, обладающее меньшим градиентом плотности.

По-видимому, в случае *рассеянных скоплений* галактик мы можем найти гораздо больше явлений, свидетельствующих о суперпозиции отдельных групп. Очень хорошим примером этого является цепочка ярких галактик M 84, M 86, NGC 4435, NGC 4438 и др. в скоплении Девы. Как указал несколько лет назад Б. Е. Маркарян, эта цепочка не является случайным образованием, а наложена на скопление в Деве как некоторая самостоятельная группа.

Вполне возможно, что вообще рассеянные скопления галактик представляют собой результат сложения и наложения некоторого числа подобных групп, в результате чего и получается их неправильная форма.

В этой связи следует вспомнить о существовании скоплений (или групп), которые состоят из одной центральной галактики, окруженной меньшим или большим числом объектов более низкой светимости. К числу подобных объектов относится, например, группа вокруг M 101. Мы подчеркиваем этот факт, ибо в этих случаях общность происхождения центральной галактики и ее слабых спутников представляет-

ся несомненной. Однако необходимо отметить, что наряду с этими системами имеются группы, состоящие почти исключительно из сверхгигантов. Примером является квинтет Стефана. Около этих сверхгигантов, в противоположность предыдущему случаю, мы не наблюдаем сколько-нибудь заметного числа галактик низкой светимости. Впрочем, не исключено, что имеется разрыв функции светимости и что эта система содержит какое-то число галактик с абсолютной величиной слабее предельной величины, еще доступной наблюдениям. Приведенные здесь факты наряду с тем, что было сказано в начале статьи об исключительном положении M 31 и нашей Галактики в Местной группе, говорят о большом космогоническом значении сверхгигантских галактик в скоплениях и группах.

Из сказанного также ясно, что наряду с исследованием богатых скоплений галактик крайне важно иметь как можно больше данных о сравнительно бедных группах. В частности, было бы существенно выяснить возможность существования изолированных групп, состоящих исключительно из галактик низкой светимости. Если таких групп нет, то это означало бы, что в формировании карликовых галактик решающую роль играют космогонические процессы, происходящие в галактиках высокой светимости.

Несмотря на некоторые успехи в изучении характера звездного населения галактик и различных субсистем, все же следует признать, что в этом направлении сделаны лишь первые шаги.

Необходимо дальнейшее накопление данных о составе населения на основе спектральных данных (в направлении, указанном Морганом и Мейолом), на основе количественного анализа спектрофотометрических кривых (Б. Е. Маркарян и др.).

Другой важный вопрос заключается в анализе природы рукавов галактик. При одной и той же степени раскрытости и длине рукавов обилие в них ассоциаций совершенно различно в различных случаях. Найти корреляцию характера рукавов с другими параметрами галактики—означает приблизиться к пониманию причин указанных различий.

Особенно большой интерес представляют спиральные галактики с перемычками (типа SB). К сожалению, мы не представляем себе полностью, в чем разница между населе-

нием перемычек и рукавов. Известно лишь, что обычно цвет перемычек значительно краснее цвета рукавов и что рукава поэтому содержат относительно большее количество молодых звезд. Особенно важно выяснить, насколько перемычки богаты открытыми скоплениями и звездами-сверхгигантами.

#### IV. РАСШИРЕННОЕ ПОНИМАНИЕ ЯВЛЕНИЯ СУПЕРПОЗИЦИИ

Выше уже говорилось об отдельных случаях, когда центры подсистем, слагающих данную галактику, смещены по отношению друг к другу. Но мы знаем другие галактики, которые являются двойными, но фактически связанными между собой материальной средой и поэтому могут рассматриваться также как одиночные системы. Хорошими примерами этого являются галактики M 51 и NGC 7752—7753. Естественно здесь считать, что мы имеем дело со случаями, когда центры подсистем разошлись. В системе IC 1613 по одну сторону от основной массы галактики находится сверхассоциация, которую с одинаковым правом можно считать и частью основной галактики, и отдельной галактикой-спутником. Вполне вероятно, что сверхассоциация, состоящая из горячих гигантов, образовалась гораздо позже, чем остальная галактика\*.

В связи с этим складывается представление о том, что развитие галактики обусловлено последовательным образованием различных подсистем, причем та или иная подсистема, а иногда и группа подсистем с новым центром, может стать спутником основной галактики. Такое представление позволяет считать, что образование спутника и возникновение новой подсистемы в пределах данной галактики—явления, родственные между собой.

Более того, можно думать, что эти явления сопровождаются друг друга. Так, например, в тех случаях, когда спиральный рукав соединяет центр данной галактики со спутником, естественно считать, что возникновение спирального рукава и возникновение спутника сопровождаются друг друга.

В конце концов какой-либо спутник типа системы в Скульпторе, обращающийся вокруг основной галактики, мало

---

\* Такой же случай мы имеем в галактике IC 2574. К северу от основной части этой галактики располагается яркая сверхассоциация. Они едва соединены между собой намечающимся рукавом. (Прим. автора).

отличается по масштабам и природе населения от шарового скопления. Шаровые скопления, несомненно, возникают в результате внутренних процессов, происходящих в основной галактике. Естественно допустить то же самое в отношении спутников типа Скульптора.

## V. ЯВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ В ГАЛАКТИКАХ

До сих пор мы говорили о галактиках как статистических образованиях. Однако в галактиках, особенно в сверхгигантских, происходят также явления нестационарного характера, представляющие выдающийся интерес.

Мы не говорим здесь о процессах звездообразования в О- и Т-ассоциациях, хотя они и имеют существенное значение для жизни галактик. Мы имеем в виду более быстрые изменения, которые непосредственно наблюдаются. Интересно, что большинство этих нестационарных явлений связано с ядрами галактик и даже может рассматриваться как проявление активной деятельности этих ядер.

А. Из центральной части нашей Галактики происходит истечение нейтрального водорода. Это явление обнаружено голландскими астрономами в результате наблюдений радиолинии водорода с длиной волны 21 см. Точно такое же явление истечения газов из ядра М 31 обнаружено Мюнхом в результате исследования линии  $\lambda = 3727 \text{ \AA}$ . В обоих случаях истекающая масса достигает порядка одной солнечной массы в год. Этот результат странным образом не соответствует имеющимся оценкам масс галактических ядер (порядка  $10^7$  масс Солнца).

Б. У некоторых галактик, обладающих ядрами высокой светимости, как показал Сейферт, эмиссионная линия  $\lambda = 3727 \text{ \AA}$  сильно расширена, что соответствует скоростям движения порядка нескольких тысяч километров в секунду. Эти скорости превосходят обычные для галактик скорости отрыва. Несомненно, мы имеем здесь дело с мощными потоками вещества, вырывающегося из ядра с большими скоростями и затем рассеивающегося. По-видимому, в этом случае количество истекающего вещества намного превосходит соответствующую величину для нашей Галактики и М 31. Следует

ожидать, что аналогичную природу имеют те из голубых галактик Аро, у которых эмиссионные линии интенсивны в околядерной области.

В. В самом центре радиогалактики NGC 4486 мы также наблюдаем линию  $\lambda = 3727 \text{ \AA}$  и, по-видимому, довольно сильное истечение газа со скоростью около  $500 \text{ км/сек}$ . Сопоставляя это с наличием радиальной струи, исходящей из центра этой галактики наружу и содержащей сгущения, дающие интенсивное радиоизлучение, мы приходим к выводу, что сгущения были выброшены из центрального ядра галактики с большими скоростями. Поляризация света этих сгущений указывает на наличие в них электронов высокой энергии. Однако эти сгущения не являются образованиями масштаба Крабовидной туманности. Энергия их радиоизлучения, измеренная в абсолютных единицах, в десятки миллионов раз больше. Если учесть, что и длительность радиоизлучения в этом случае должна быть по меньшей мере в тысячу раз больше, то мы приходим к выводу о том, что запасы энергии в этих сгущениях в миллиард раз превосходят полный запас энергии Крабовидной туманности. Иными словами, эти сгущения по своей энергии и массе должны быть объектами масштаба небольших галактик, что находится в соответствии с их абсолютной величиной в фотографических лучах.

Выброшены ли были эти сгущения из ядра галактики, как готовые облака релятивистских электронов, или, что вероятнее, из ядра были выброшены объекты, непрерывно создающие новые потоки таких электронов,—это другой вопрос. Однако важно, что из ядра гигантской галактики *могут быть выброшены такие грандиозные сгущения*, что опять-таки мало вяжется с нашими сведениями о массах ядер галактик.

Г. Гораздо труднее найти объяснение явлениям, происходящим в других радиогалактиках. Мы знаем, однако, что как раз галактика NGC 1275 (Персей А) входит в число тех галактик Сейферта, в которых линия  $\lambda = 3727 \text{ \AA}$ , наблюдаемая в центральной области, сильно расширена. Иными словами, и в этом случае происходит интенсивное истечение вещества из ядра. Наличие двух ядер в радиогалактике Лебедь А указывает как будто на происшедший недавно процесс разделения ядра, что в связи с развитыми выше соображениями



должно привести к образованию подсистем с различными центрами, а в дальнейшем к образованию двойной галактики.

Во всяком случае, пример NGC 5128 (Центавр А) также говорит о том, что ядра галактик способны выбрасывать либо огромные облака релятивистских электронов, либо же вещество, способное в дальнейшем создавать такие облака.

Так или иначе, радиогалактики являются системами, в которых центральные ядра проявляют опромную активность вплоть до создания новых сгущений, новых подсистем, а возможно и новых галактик. Поэтому в данном случае мы смело можем говорить о *космогонической активности ядер*, хотя нам известно, за счет каких масс проявляется эта активность.

Д. Нам известны гигантские галактики, из центральных областей которых происходит истечение струй. В последних содержатся голубые галактики с абсолютными величинами порядка  $-15$ , т. е. имеющими большую светимость, чем сгущение в NGC 4486. Примерами подобных галактик являются NGC 3561 и IC 1182. Выброс таких сгущений является еще одним видом космогонической активности ядер галактик.

Е. Тот факт, что спиральные рукава берут начало от самих ядер галактик, свидетельствует о том, что и зарождение спиральных рукавов непосредственно связано с ядром.

Ж. Радионаблюдения центра нашей Галактики, произведенные Ю. Н. Парийским и другими, свидетельствуют о том, что состояние ядра, состоящего как будто преимущественно из звезд поздних типов, резко отличается от состояния других группировок подобных звезд (например, шаровых скоплений). Само ядро нашей Галактики является источником тепловой радиоэмиссии, в то время как окружающая область с диаметром порядка 500 парсеков является областью сильного нетеплового излучения. Эти факты говорят о том, что физическое состояние указанных ядер сильно отличается от состояния обычных звездных группировок.

Одной из важнейших задач, которые стоят перед нами в области изучения истечения вещества и выбросов из ядер галактик, является переход к количественным оценкам выбрасываемых масс.

Это одинаково относится как к галактикам, центральные части которых испускают линии излучения, так и к радиогалактикам и другим случаям, когда мы имеем дело с дискретными выбросами.

Уже имеющиеся скудные факты говорят о том, что эти данные могут привести к противоречию с законом сохранения энергии (и вещества) в его современной форме и потребовать обобщения этого закона.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы видим, что важнейшие процессы в жизни больших галактик определяются активной деятельностью их ядер. Эта деятельность выражается в различных формах, о которых говорилось выше. Наиболее интересными являются, однако, два вида активности ядер. Один из них связан с образованием спиральных рукавов, другой—с формированием звезд и звездных скоплений сферической составляющей. По-видимому, эти явления происходят на разных этапах развития и сопровождаются соответствующими изменениями в ядрах. Вместе с тем следует отметить, что сам процесс возникновения каждого типа подсистем в различных случаях должен иметь разный характер. Так, например, галактика М 32 не содержит, по-видимому, шарообразных скоплений, в то время как другой спутник туманности Андромеды—NGC 205—содержит по крайней мере девять шаровых скоплений. Самое удивительное заключается в том, что шаровые скопления присутствуют в галактиках с очень малым градиентом плотности.

Если принять гипотезу образования галактик из первоначальных диффузных облаков, то кажется естественным, чтобы такие плотные образования, как шаровые скопления, возникли в системах, где имеются области очень высокой плотности, т. е. где имеются и большие градиенты плотности. Однако, конечно, такие качественные рассуждения не могут считаться удовлетворительными. Существенно лишь, что *количество шаровых скоплений, приходящееся на единицу светимости сферического населения, меняется от системы к системе.*

Таким образом, мы получаем дополнительный параметр для характеристики сферических систем и подсистем. Как

этот параметр связан с другими параметрами этих же систем (полная светимость, градиент плотности), должно быть выяснено из наблюдений.

Статистические данные, относящиеся к кратным галактикам и скоплениям галактик, говорят о том, что эти системы не могли образоваться путем взаимного пленения прежде независимых друг от друга галактик. Поэтому компонентам указанных систем нужно приписать совместное происхождение. Этот вопрос был подробно рассмотрен в нашем Сольвейском отчете 1958 г.\*

В свете упомянутых выше данных о выбрасывании из ядер сгустков, превращающихся в целые галактики умеренной или низкой светимости, и о делении ядер становится вероятным представление о возникновении кратных систем и целых групп в результате деления одного первоначального ядра на несколько ядер. Возможно, что это деление происходит последовательно.

В тех случаях, когда в группе имеется центральная галактика высокой светимости, возникновение слабых галактик должно быть связано главным образом с деятельностью ядра галактики высокой светимости.

Об очень большой активности ядер галактик-сверхгигантов говорит тот факт, что радиогалактики обычно являются одними из самых ярких членов скоплений, в которые они входят. Если же в скоплении имеется одна явно доминирующая галактика, то это обычно бывает сама радиогалактика.

Наблюдения показывают, что хотя все большие скопления содержат сверхгигантские галактики, только небольшая часть последних является радиогалактиками. Таким образом, радиоизлучательная активность должна быть относительно кратковременной фазой в истории развития галактик. Следует думать, что выделение радиоизлучающих агентов представляет собой явление, сопровождающее удаление из ядер более мощных масс и, возможно, происходящее лишь на определенном этапе того или иного космогонического процесса.

Хотя внегалактическая астрономия имеет большие возможности в отношении изучения активности ядер, все же

---

\* См. статью «Об эволюции галактик» (стр. 289 настоящего сборника).

наши сведения о различных видах этой активности крайне скудны. Еще меньше мы знаем о параметрах, характеризующих интегральные свойства этих ядер (светимость, масса, цвет, размеры, вращение). Наконец, мы ничего не знаем о внутреннем строении этих ядер. В связи с этим в указанной области внегалактической астрономии имеется самое обширное поле исследования. Перечислим некоторую часть возникающих здесь проблем.

1. Все ли галактики имеют ядра; если нет, то каковы характеристики галактик, не имеющих ядер.

2. Определение интегральных характеристик ядер для возможно большего числа галактик. При этом нужно учитывать трудность этой задачи по отношению к галактикам с большим градиентом плотности. Вместе с тем следует отметить, что у многих галактик типа Sc ядро выделяется настолько хорошо, что может быть исследовано без больших помех со стороны окооядерного центрального сгущения.

3. Определение зависимостей между интегральными параметрами ядер и интегральными параметрами галактик.

4. Исследование спектра ядер на предмет выявления эмиссионных линий, явлений вращения и истечения.

5. Исследование связи между ядром и перемычкой в галактиках с перемычкой. Связь между перемычкой и явлением истечения из ядра.

6. Исследование галактик с кратными ядрами. Изучение лучевых скоростей отдельных компонентов таких ядер.

7. Зависимость числа шаровых скоплений от природы ядра галактики.

Хотя мы привели выше некоторые соображения космогонического характера, относящиеся к происхождению галактик, мы все время стремились все же оставаться на почве фактов и не вдаваться в далекие спекуляции. Анализ наблюдений показывает, что явления, относящиеся к происхождению галактик, настолько необычны, что их было бы невоз-

можно предвидеть, исходя из каких-либо теоретических предвзятых положений. Здесь мы снова сталкиваемся с паразитическим явлением, постоянно повторяющимся в истории науки. Когда она вторгается в новую область явлений, она находит неожиданные, качественно новые закономерности, выходящие за пределы прежних представлений. Это делает каждую такую область явлений тем более интересной. Поэтому нам нужно еще более тщательно собирать факты и наблюдения, ибо лишь увеличение фактических данных, более точные сведения о реальных объектах, большая информация о строении различных частей галактик и тщательный анализ этих сведений могут помочь нам в разрешении возникающих здесь трудных вопросов.

## О ЯДРАХ ГАЛАКТИК И ИХ АКТИВНОСТИ\*

### ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Настоящий доклад является моим вторым сообщением на Сольвейских конференциях. Первый доклад об эволюции галактик был прочитан на Сольвейской конференции 1958 года.\*\* Он касался, главным образом, эруптивной активности ядер галактик, выброса больших масс из этих ядер и других процессов, связанных с быстрым освобождением больших количеств энергии в ядрах. В настоящем сообщении я хотел бы еще раз подробно остановиться на той же теме—активности ядер.

Нужно заметить, что положение докладчика по такой теме в 1958 году было гораздо труднее, чем сейчас. В то время нужно было доказывать, в противоположность существовавшему общепринятому мнению, что радиогалактики являются не результатом столкновения пар галактик, а представляют звездные системы, в ядрах которых имели место гигантские взрывы, приведшие к образованию больших облаков релятивистских электронов. Полагаясь на некоторое число косвенных свидетельств, я тогда должен был показывать, что из ядер галактик иногда могут выбрасываться огромные массы *обычного вещества*\*\*\*. Теперь, когда опубликована

---

\* Доклад на XIII Сольвейской конференции, посвященной проблеме «Строение и эволюция галактик» (Брюссель, сентябрь, 1964 г.). Опубликован в трудах конференции: *The Structure and Evolution of Galaxies*, Interscience Publishers, London—New York—Sydney, 1965, стр. 1. Печатается по тексту книги: В. А. Амбарцумян, Проблемы эволюции Вселенной, Изд-во АН Арм. ССР, Ереван, 1968, стр. 200—214. Обсуждение доклада, имеющее лишь специальный интерес, опущено.

\*\* См. статью «Об эволюции галактик» (стр. 289 настоящего сборника).

\*\*\* В напечатанном английском тексте имеется сноска: под «обычным веществом» Амбарцумян понимает «нерелятивистскую плазму».

прекрасная работа Сандейджа и Линдса относительно галактики М82, я думаю, что уже нет места для сомнений на этот счет.

С другой стороны, доступная теперь информация о галактиках различных морфологических и физических типов гораздо богаче. Это прокладывает путь к вскрытию природы этих основных образований Вселенной.

Как и в 1958 году, я снова попытаюсь начать не с предвзятых мнений, а основываясь на наблюдательных данных. Предвзятые мнения часто препятствуют достижению правильных выводов, даже если последние определенным образом подтверждаются наблюдениями. Мне кажется, что такие предубеждения все еще существуют. По-моему, любая недооценка роли, которую играют ядра в эволюции галактик, дает пример такой предвзятой концепции. В упомянутом выше сользейском докладе, так же, как и на нашей лекции по приглашению в Беркли в 1961 году\*, было представлено достаточное количество данных, свидетельствующих об активной и, возможно, даже основной роли ядер в эволюции галактик. Не обращая внимания на эти факты, некоторые исследователи все еще пытаются объяснить необычные явления, которые мы наблюдаем в ядрах, в рамках представления о быстрой или медленной концентрации к ядру окружающей материи. Отсюда идея коллапса как причины наблюдаемых взрывов. Я думаю, что чем раньше мы откажемся от этой идеи, тем скорее придем к правильным объяснениям. Действительно, кажется странным следующее положение.

Новые наблюдения все больше и больше указывают на истечение материи из центра, на взрывы, струи и выбросы, тогда как в то же самое время некоторые теоретики все больше и больше говорят в пользу конденсации, падения материи к центру и коллапсов. При этом не приводятся какие-либо убедительные факты в поддержку гипотезы конденсации больших масс окружающей материи к ядру галактики.

В противоположность этому, проблема воздействия наблюдаемых крупномасштабных взрывов и выбросов из ядра на жизнь окружающей галактики пока не заслужила нужного внимания теоретиков.

---

\* См. статью «О природе и эволюции галактик» (стр. 327 настоящего сборника).

Поэтому нам кажется, что астроном, привыкший изучать и анализировать *факты*, должен сосредоточивать внимание главным образом на следующих двух проблемах:

- 1) изучение природы ядер и протекающих в них процессов;
- 2) влияние этих процессов на эволюцию галактики в целом.

Что касается теоретического объяснения необычных процессов, происходящих в ядрах, то мы должны пройти через обычные две стадии. Первая стадия—правильная интерпретация наблюдений. Когда наблюдательные данные скудны, то существенно, прежде всего, составить ясное представление о том, что происходит и в чем физическая природа наблюдаемого явления. Затем наступает вторая стадия. Составив общее представление о том, что происходит, мы пытаемся выяснить причину явления и объяснить его происхождение. В астрофизике за решением первой проблемы в большинстве случаев скоро следует удачное решение второй проблемы. Но часто для того, чтобы как следует решить вторую проблему, требуется значительное время.

К сожалению, иногда замечается тенденция перескочить через первую стадию. В частности, такая поспешность замечается в проблеме взрывных процессов в ядрах галактик. Хотя причина для такой поспешности вполне понятна, я тем не менее думаю, что в настоящее время мы должны обратить внимание, в основном, на первую стадию. В этом сообщении мы ограничим себя первой стадией, оставляя объяснение наблюдаемых явлений на будущее.

#### ФОРМЫ АКТИВНОСТИ ЯДЕР

Наблюдения показывают, что ядра галактик не являются изолированными системами. В дополнение к изучению они также испускают обычную материю в окружающее пространство. Этот процесс может протекать различным образом. Поэтому имеется основание говорить о различных формах или типах активности ядер. Наблюдаемые формы активности, включая и те, которые могут считаться спорными, приводятся ниже. Мы приходим к заключению о существовании этих



типов на основе интерпретации наблюдений, хотя эта интерпретация часто не является однозначной.

а) Спокойное истечение обычной газовой материи из области ядра со скоростью десятков или сотен километров в секунду. Лучшей иллюстрацией такого истечения служит явление, наблюдаемое в М31 в спектральной линии  $\lambda$  3727. Такое же истечение имеет место в нашей собственной Галактике и в Малом Магеллановом Облаке.

б) Непрерывное испускание потока релятивистских частиц или других агентов, производящих электроны высоких энергий. В результате этого образуется радиогало вокруг ядра на метровых и дециметровых волнах. Такое явление наблюдается вокруг ядра нашей Галактики. Согласно Метьюсону и Роуму, радиочастотное излучение в Sc-галактиках в дециметровой области концентрируется в области вокруг ядра, а диаметр радиоизображения в несколько раз меньше диаметра оптического изображения галактики (NGC 253, 4945, 5236, а также Sb-галактика NGC 1068).

в) Эруптивные выбросы газовой материи. Примером таких явлений служит М82. Другим возможным примером является NGC 2685. Такие явления, по всей вероятности, имеют место также и в радиогалактике NGC 1275, где наблюдается газовое облако, движущееся со скоростью 3000 км/сек относительно центра галактики.

г) Эруптивные выбросы концентраций релятивистской плазмы. Примеры: NGC 4486, NGC 5128 и многие другие радиогалактики.

д) Выбросы несколько более плотных голубых сгущений, имеющих абсолютные величины в интервале от  $-14^m$  0 до  $-17^m$  7. Такие концентрации могут рассматриваться как недавно рожденные галактики. Примеры: NGC 3561 и IC 1182. Возможные случаи деления ядер на два или более сравнимых компонента с последующим образованием двойных или кратных галактик могут быть также отнесены к таким явлениям.

е) Истечение вещества, из которого впоследствии образуются спиральные рукава (гипотетическая форма активности).

ж) Выброс вещества перемычек в SB-галактиках (гипотетическая форма активности).

з) Выброс вещества, из которого образуется звездное население сферических подсистем (гипотетическая форма).

Вполне возможно, что некоторые из этих процессов совпадают друг с другом, представляя различные стороны того же самого активного процесса. Мы можем взять, например, радиогалактику Гидра А, в непосредственной окрестности которой наблюдается очень интересный голубой объект. Весьма вероятно, что выбросы радиоизлучающего облака и голубого объекта имели место одновременно. Хотя эти явления взаимно связаны, возможно также, что они имели место в некоторой последовательности. Все эти формы активности могут дополняться взрывами, которые приводят к образованию квазизвездных источников типа 3С 273. Последние явления превосходят другие формы активности по масштабу. Такие взрывы могут, возможно, означать начало формирования новой галактики или даже целого скопления галактик.

#### О ПРИРОДЕ ЯДЕР

С точки зрения мощности ядер наблюдаемые галактики могут быть сгруппированы в пять классов:

1) Галактики без каких-либо заметных ядер и без какого-либо значительного сгущения в центре. Значительное сгущение в центре должно указывать на присутствие ядра, возможно очень слабого. Многие иррегулярные галактики относятся к этому классу. Эллиптические карликовые галактики типа Скульптора также должны быть включены в эту группу.

2) Галактики, имеющие спокойные ядра сравнительно низкой светимости. Этот класс может включать в себя галактики, у которых ядро более чем на четыре величины слабее интегральной светимости самой галактики. М 31, NGC 5194, М 33 и, возможно, наша Галактика входит в этот класс.

3) Галактики со спокойными ядрами высокой светимости, когда ядро слабее всей галактики на 1.5—4 величины. Спектры ядер в классах 2 и 3 являются непрерывными. Могут присутствовать эмиссионные линии  $\lambda$  3727 и другие. Хотя эти

линии могут иногда достигать значительной степени интенсивности, они не показывают ни заметного расширения, ни разделения на компоненты. Примеры: NGC 4303, NGC 3162.

4) Сейфертовские галактики с очень яркими ядрами, светимость которых составляет значительную часть светимости всей галактики. Имеется большое число эмиссионных линий. Они показывают либо расширение, либо расщепление, вызванные большой скоростью движения имеющихся в ядре газовых облаков.

5) Компактные галактики, в число которых могут войти и звездообразные радиогалактики, так же как и многие другие компактные объекты, обнаруженные оптическими средствами (Цвикки). В этом случае мы можем считать, что светимость в целом концентрируется в ядре галактики.

Ядра класса 2 имеют малые размеры. Их диаметры порядка нескольких парсеков или нескольких десятков парсеков. В классах 3, 4 и 5 встречаются ядра больших размеров, диаметры которых могут измеряться сотнями парсеков. Например, ядро галактики типа SBv, NGC 3504 имеет диаметр порядка  $100 \text{ pc}$  с некоторым возрастанием яркости к центру. Другие ядра показывают иногда более регулярное распределение энергии по диску. Однако эта запутанная проблема распределения яркости по диску ядер требует очень большой разрешающей силы телескопов и может рассматриваться как полностью неизученная.

Непрерывный спектр ядер галактик классов 2 и 3 указывает на то, что источником светимости является звездное население центральных областей таких галактик, как M31 и M81. Однако в этих ядрах уже присутствует газовая составляющая. Данные относительно линии  $\lambda 3727$  в области ядра M31 указывают на сравнительно спокойное и непрерывное истечение материи из таких ядер. Хотя этот поток и небольшой, за большой промежуток времени может вытекать масса до  $10^8 M_{\odot}$ . Следовательно, возникает вопрос об источниках вытекающих газов.

В случае ядер сейфертовского типа (класс 4) мы можем уже утверждать, что в дополнение к звездной компоненте ядро содержит также и газовую компоненту, которая, по крайней мере в определенных случаях, состоит из изолированных дискретных облаков, вылетающих из ядра со скоростями в

тысячи километров в секунду. Такие большие скорости не оставляют места для сомнения в том, что дискретные газовые облака, о которых говорилось выше, зародились внутри ядер. Это неизменно ведет нас к заключению о том, что они были выброшены всего несколько десятков тысяч лет тому назад из более плотных тел. Это означает, что такие ядра содержат тела, которые на настоящей стадии эволюции ядер проявляют огромную эруптивную активность. Поэтому ядра сейфертовского типа галактик должны бы, собственно, называться возбужденными ядрами. В то же время нет основания полагать, что указанные выше облака могут быть выброшены членами обычного звездного населения ядер, особенно, если принять во внимание тот факт, что массы некоторых облаков могут быть, по крайней мере, порядка сотен  $M_{\odot}$  и больше. Мы неизбежно приходим к заключению, что такие ядра содержат одно или более сверхмассивных незвездных тел, из которых выбрасываются газовые облака.

Что касается компактных объектов класса 5, то нужно заметить, что во всяком случае часть из них содержит сверхмассивные тела незвездной природы. Конечно, мы имеем в виду квазизвездные радиогалактики. Существенно, однако, что большая часть радиоизлучения исходит в этом случае непосредственно из такого тела. Судя по распределению энергии в спектре, доходящее до нас излучение нетепловое и характеризуется ультрафиолетовым избытком.

Нужно заметить, однако, что наличие ультрафиолетового избытка типично также и для ядер большинства сейфертовских галактик (класс 4). Более того, Маркарян показал, что многие галактики, которые должны быть отнесены к категориям 2 и 3, также имеют ультрафиолетовый избыток, который имеет, вероятно, нетепловое происхождение. Все это дает серьезное основание полагать, что незвездные тела существуют также и в ядрах галактик таких категорий. Разница заключается в том, что в этих случаях различные признаки, указывающие на присутствие таких тел, являются значительно менее явными, чем в категориях 4 и 5. В частности, светимость сверхмассивных тел в видимой части спектра слаба по сравнению со светимостью звездного компонента. Истечение газов происходит с меньшей мощностью и имеет спокойную природу.

Вот почему мне кажется, что анализ наблюдательных данных приводит нас к следующему выводу: каждое ядро содержит сверхмассивное тело, которое может быть или в эруптивном состоянии (квазизвездные галактики), или в возбужденном, активном состоянии (сейфертовские галактики), или пока еще в состоянии слабой активности (галактики классов 2 и 3).

Это означает, что ядро состоит из трех компонентов: *звездного населения, газа и сверхмассивного тела*. Кроме этого, будучи автономной по отношению к галактике механической системой, ядро динамически развивается вне зависимости от остальной части галактики.

### О ПРИРОДЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ЯДРОМ И ГАЛАКТИКОЙ

Сделанное выше допущение о том, что каждое ядро содержит, как правило, сверхмассивное незвездное тело, находится в полном соответствии с точкой зрения, высказанной в нашем сообщении в Беркли, согласно которой ядро играет существенную, если не доминирующую роль в эволюции каждой галактики. Действительно, не является более спорным тот факт, что происхождение и эволюция, по крайней мере, некоторых из подсистем, составляющих галактику, обусловлены самим ядром. Например, подсистема, состоящая из релятивистской плазмы, которая так заметно выделяется в радиогалактиках. Пример галактик типа М 82 показывает, что в эволюции обычной газовой компоненты ядро может играть решающую роль. Однако предположения, сделанные в докладе в Беркли, о том, что как спиральные рукава, так и население второго типа возникают из вещества, выброшенного из ядра, остаются еще недоказанными и должны быть проверены различными методами. Я хотел бы сформулировать несколько соображений, за отсутствие строгости в которых я заранее приношу извинения.

Кажутся возможными две крайние точки зрения:

1) Происхождение ядра обусловлено процессом эволюции самой галактики. Последующая эволюция внешних частей галактики практически не зависит от ядра или, чтобы быть более точным, зависит, но незначительно, только от гравитационного воздействия ядра.

2) Активность ядра приводит к образованию различных компонентов галактики, что объясняет решающую роль ядра в формировании галактики, хотя, конечно, подсистемы звезд, однажды образованных, эволюционируют после этого сами по себе, завися от ядра так же, как и от других подсистем, согласно законам звездной динамики.

Теперь возникает вопрос, какова должна быть ожидаемая связь между параметрами, характеризующими ядро и галактику?

Очевидно, что если правильна первая гипотеза, то состояние галактики будет объяснять состояние ядра. В случае второй гипотезы состояние ядра должно быть в некоторой степени независимым от состояния галактики. Чтобы быть более точным, в последнем случае состояние галактики должно быть объяснено посредством всей активности ядра за предыдущий период, то есть за всю историю ядра. Это означает, что состояние галактики должно коррелироваться с современным состоянием ядра, в той мере, в какой о его истории можно судить по известному состоянию ядра.

До того, как сослаться на факты, нужно заметить, что наблюдения позволяют детально характеризовать состояние галактики, в то время как наша информация относительно ядер очень скудна. Вот почему такое косвенное рассмотрение проблемы встречается с трудностями, поскольку не имеется снимков ядер с очень большим угловым разрешением. Тем не менее, нужно подчеркнуть, что в ряде случаев, где ближайшие галактики содержат сравнительно яркие ядра, мы можем грубо оценить некоторые из их интегральных характеристик, такие, как светимость и показатель цвета. Определение диаметров ядер возможно только в нескольких случаях. Поэтому мы должны искать корреляцию состояния галактик со значениями только этих двух интегральных параметров ядер. Но значение этих двух параметров не могут с уверенностью определять всю историю ядра. Из сказанного следует, что мы можем ожидать лишь слабую корреляцию между состоянием галактик и указанными выше интегральными характеристиками ядер.

За прошедший год в нашей обсерватории было получено несколько сот снимков галактик с целью определения характеристик их ядер. До оценки каких-либо количественных параметров наши астрономы стремились качественно оценить

степень выделения ядра на фоне галактики. Была применена произвольная шкала для обозначения степени выделения ядра, значения различных оценок которой объяснены в табл. 1.

В случае оценок 3, 4, 5 мы считаем, что ядра определено существуют, но только при баллах 4 и 5 возможна фотометрическая оценка. В случае низких баллов возможно оценить лишь верхний предел светимости ядра, который составляет только часть наблюдаемого центрального сгущения.

Таблица 1

Выделение ядер на изображениях галактик

Оцен-ка	Образец (вид изображения центра)	Интерпретация
1	Нет заметной конденсации в центре	Нет ядра
2	Слабая концентрация в центре	Возможно, имеется ядро
3	Сильная концентрация в центре, однако нет звездообразного изображения	Определенно имеется ядро, однако оно неразлично от фона
4	Звездообразное ядерное изображение при коротких экспозициях, но туманное при больших экспозициях	Видно ядро, погруженное в плотную часть «балджа»
5	Звездообразное ядерное изображение, даже когда экспозиции отличаются от предельной	Яркое ядро, которое резко выделяется на фоне.

Значительность ядра в галактиках типов SB не очень тесно коррелируется с морфологическим подтипом галактики. Так, например, мы имеем оценки 4 и 5 в таких подтипах, как SBa, SBb, тогда как в подтипах SB0 и Sc их почти нет. Как правило, в SBc-галактиках, очевидно, нет каких-либо ярких ядер.

С телескопом, имеющим другое фокусное расстояние, мы

получили бы гистограммы, отличные от показанных здесь\*. По-видимому, изменение легко предвидеть. При увеличении углового разрешения некоторые галактики будут смещаться вправо (в системе нашей классификации). Только после таких качественных оценок становятся возможными количественные оценки по методу, который скоро будет опубликован нашими астрономами\*\*.

При попытке вывести корреляцию между абсолютной интегральной величиной ядра и абсолютной (интегральной) величиной галактики для всей группы SB-галактик и для Sc-галактик, рассматривая только те случаи, когда ядра оценены баллами 4 и 5, видно, что в обоих случаях эта корреляция не очень тесная. Это свидетельствует об относительной независимости состояния ядра от параметров, характеризующих галактику. Независимость состояния ядра от светимости галактики является чем-то заслуживающим особого внимания. С другой стороны, мы видели выше, что у SB-галактик имеется несомненная корреляция ядра с морфологическим подтипом. Наконец, в случае гигантских эллиптических галактик преобладают ядра с низкой светимостью, что служит примером более тесной корреляции. И наоборот, мы можем найти ядра различных светимостей или можем даже вообще не видеть ядро в эллиптических галактиках низкой светимости (сравни M 32, NGC 205, 185, 147). Наличие тесной или слабой корреляции, наблюдаемой у исследуемого класса галактик, сильно поддерживает вторую гипотезу, то есть предпочтение должно быть дано предположению, согласно которому ядро влияет на эволюцию галактик.

Мы должны попытаться дать более четкие очертания нашим представлениям. Допустим, что гигантские галактики начинают свою жизнь как эллиптические системы, в которых ядра тоже молодые и пока еще не обладают богатым звездным населением. С увеличением активности повышается их

---

\* Как в английском, так и в русском изданиях доклада упомянутые гистограммы отсутствуют. Эти гистограммы помещены в тексте сообщения В. А. Амбарцумяна «Некоторые замечания о природе ядер галактик» на XII Генеральной Ассамблее Международного астрономического союза, в Гамбурге, 27 августа 1964 г. См. его книгу «Проблемы эволюции Вселенной», Изд-во АН Арм. ССР, Ереван, 1968, стр. 198.

\*\* См. Сообщ. Бюраканской obs., 36, 31, 1964.



светимость. В то же время в галактике возникают новые подсистемы. Поэтому, вероятно, что ядра с высокой светимостью будут встречаться в галактиках Sa, Sb, SBa и SBb. Наконец, галактики Sc, SBc и те из иррегулярных, которые содержат население I типа (Магеллановы Облака и другие), кажутся наиболее старыми системами. Ядра высокой светимости редко встречаются в галактиках типа Sc, в то время как в SBc и иррегулярных галактиках ядра не должны наблюдаться. При последней стадии, по-видимому, имеет место ослабление и исчезновение ядер.

Астрономы, занимающиеся исследованием эволюции галактик, обычно принимают противоположное направление эволюции и считают, что объекты типа Магеллановых Облаков являются наиболее молодыми. Они утверждают, что последние системы содержат большое число молодых звезд высокой светимости. Мне кажется, что астрономы, которые придерживаются этой точки зрения, не считаются с тем, что нельзя путать молодость галактики с молодостью определенной части ее населения. Грубо говоря, мы знаем города, которые имеют историю в тысячи лет, хотя средний возраст их жителей молодой. С другой стороны, недавно возникшие современные курортные поселки имеют население, состоящее, главным образом, из выздоравливающих больных пожилого возраста. Со временем в районах санаториев может возникнуть промышленность, что в будущем может привлечь туда большое число молодых жителей.

Конечно, это очень грубое сравнение, так как я не очень верю в концепцию о возможности образования нескольких последовательных поколений звезд из одного и того же вещества. Поэтому такое сравнение галактик и городов весьма условно.

Таким образом, нашей отправной точкой является предположение, что в начальной стадии развития звездное население, по крайней мере внешне, напоминает нам то, что мы условно называем населением типа II. Однако это должно быть молодой разновидностью населения II. Образование населения I типа должно относиться к более поздней стадии, когда образуются спиральные рукава из выброшенного из ядер вещества.

## НАЧАЛЬНЫЕ СТАДИИ ЭВОЛЮЦИИ ГАЛАКТИК

Теперь возникает вопрос, можем ли мы указать галактики, состоящие из населения типа II с более или менее прямыми признаками их молодости. Еще в 1958 году на Сольвейской конференции, мы указывали, что галактика M82, входящая в группу M81, показывает скорость, которая, вероятно, превышает скорость ухода относительно центра тяжести этой группы. Отсюда, естественно, следует, что возраст галактики должен быть порядка  $10^8$  лет (или  $2 \cdot 10^8$  лет). Хорошо известная работа Сандейджа и Линдса возбудила интерес к галактикам этого типа, и я хотел бы остановиться на этом вопросе более подробно.

Список де Вокулера, содержащий новую классификацию 1500 ярких галактик, включает 12 объектов типа M82. Из них одна галактика находится на южном небе, и мы не имеем в нашем распоряжении ее снимка. Вместо нее я добавил галактику NGC 520, которая, несомненно, принадлежит к тому же типу. Из этих двенадцати галактик три (NGC 972, 3955 и 4753) являются изолированными объектами. В их окрестностях нет другой, сравнимой по светимости или диаметру галактики. Что касается галактик NGC 972 и NGC 4753, лучевые скорости которых известны, то можно с точностью утверждать, что в окружающих их объемах диаметром в 500 000 *pc* нет ни одной галактики, которая была бы слабее соответствующей галактики на 4 величины или менее. Они кажутся действительно изолированными объектами с довольно большой абсолютной величиной ( $-20^m$  0).

Из девяти неизоллированных объектов два являются компонентами двойных систем (NGC 5195 и NGC 3448). В обоих случаях второй компонент является Sc галактикой, спиральная ветвь которой вытянута к рассматриваемому объекту. Семь галактик типа M82 входят в бедные группы, состоящие из четырех или пяти объектов, не считая возможных объектов очень низкой светимости. Галактики M82 и NGC 3077, входящие в группу M81, могут служить примерами таких объектов. Описанные выше особенности являются настолько выдающимися, что могут служить пробным камнем для гипотез, объясняющих происхождение этих галактик.

Очевидно, мы можем предполагать, что в наиболее ранней стадии эволюции вновь сформированная галактика долж-

на иметь очень низкую светимость и активное ядро. Со временем светимость должна расти. Если группы молодых галактик имеют положительные полные энергии, то мы должны иметь более молодые объекты среди групп меньших линейных размеров. Рассматривая галактики типа M82 как такие молодые объекты, мы должны ожидать, что они должны иметь более низкие светимости в группах малых размеров и более высокие светимости—в группах больших линейных размеров. После окончательного распада группы мы должны иметь изолированные галактики типа M82 с наивысшей светимостью. Но это то, что мы наблюдаем на самом деле. Все объекты типа M82 низкой светимости входят в компактные группы. Из трех галактик с высокими светимостями одна (NGC 520) является членом группы очень больших размеров, а две другие являются изолированными объектами.

### О НЕТЕПЛОВОМ ИЗЛУЧЕНИИ ЯДЕР

Известно, что объекты типа 3C 273 обладают спектром, который резко отклоняется от кривой Планка. Распределение энергии в спектре этих объектов, очевидно, может быть лучше объяснено в рамках синхротронного излучения. Кроме того, можно полагать, что в излучении многих других ядер также имеется нетепловой компонент. Так, согласно Минковскому, ядро радиогалактики NGC 6166 особенно отчетливо видно в ультрафиолетовых лучах. Как указывалось выше, на основе анализов цветов центральных частей галактик, в которых имеется несоответствие морфологических особенностей со спектром, сделано заключение (Маркарян), что в излучении ядер таких галактик имеется голубой избыток. Наконец, получив фотографии голубой струи из галактики NGC 3561, Цвикки показал, что непрерывный спектр простирается далеко в сторону ультрафиолетовой части. Во всех этих случаях мы едва ли можем ожидать наличия значительного количества голубых звезд в ядрах этих галактик. Вот почему ультрафиолетовый или голубой избыток должен быть приписан нетепловому излучению.

Исследования, проведенные в Бюракане, установили, что некоторое число SB-галактик с ядрами высокой светимости существенно краснее, чем их ядра. Иногда показатель цвета ядер равен +0.2. Хорошим примером служит галактика

NGC 3504. Все это заставляет нас полагать, что нетепловое излучение ядер является довольно частым явлением. С другой стороны, наличие нетеплового излучения означает активность незвездных тел, содержащихся в ядре.

Хотя в настоящее время трудно судить о природе рассматриваемого нетеплового излучения, проявляющегося, главным образом, в виде ультрафиолетового избытка, тем не менее, я хотел бы сделать два замечания об этом эффекте.

1) Мы никоим образом не предполагаем, что это нетепловое излучение исходит непосредственно из незвездного массивного тела. Наоборот, это нетепловое излучение исходит непосредственно из диффузного вещества, находящегося внутри ядра. Однако источником энергии излучения диффузного вещества все же оказывается предполагаемое незвездное тело. Эта энергия может передаваться диффузной материи, скажем, посредством частиц высокой энергии, или, как в случае механизма релятивистских электронов, оно может излучаться непосредственно этими частицами.

2) Наличие мощного ультраосновного избытка в далеком ультрафиолете может иногда приводить к появлению эмиссионных линий, связанных с флуоресценцией. Наши астрономы обратили внимание на это в связи с наличием излучения  $H_{\alpha}$  в некоторых участках M 82. Однако можно представить более поразительные примеры такого явления.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение я хотел бы сказать несколько слов о теоретическом объяснении необычных явлений, связанных с ядрами галактик. Естественно, очень трудно говорить про объяснение явлений, когда мы имеем очень скудные знания об их сущности. Однако очевидно, что очень быстрые преобразования энергии играют существенную роль в этом случае. Такие быстрые процессы преобразования и освобождения энергии возникают в системах, которые характеризуются неустойчивостью возможных состояний. Релятивистская теория гравитации, с этой точки зрения, кажется наиболее подходящим направлением. Поэтому можно полностью понять тех авторов, которые ищут решение в рамках этой теории. Нови-

ков, который работает вместе с проф. Зельдовичем, сделал первую попытку построить релятивистские модели, содержащие такие локальные взрывы.

Такие модели являются, конечно, очень полезными, и они заслуживают более детального исследования. Но пока работа по интерпретации наблюдаемых явлений все еще, даже в грубых чертах, не закончена (выше мы назвали эту работу первой стадией теоретического исследования), трудно провести сравнение между построенными различными моделями и действительностью.

## НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ОБЪЕКТЫ ВО ВСЕЛЕННОЙ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОИСХОЖДЕНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ\*

В развитии современной астрономии есть одна характерная особенность, заслуживающая большого внимания: если до конца XIX в. астрономия имела дело, главным образом, с объектами, изменения которых во времени столь медленны, что не обнаруживались тогдашними наблюдательными средствами, то современная астрономия открыла много типов космических тел, в которых происходят относительно быстрые изменения, иногда носящие катастрофический характер.

### § 1. ПЕРВЫЕ ОТКРЫТИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ ВО ВСЕЛЕННОЙ

Какие типы космических объектов изучались астрономами в конце XIX в.?

Прежде всего, планеты Солнечной системы. Наблюдения указывали на происходящие в их атмосферах изменения. Но эти временные, преходящие изменения в отдельных местах не рассматривались как необратимые, так как они, как правило, не меняли состояния атмосферы в целом: атмосферы планет по своим свойствам представлялись неизменными (подобно атмосфере Земли). Мы и ныне уверены, что эволюционные изменения планетных атмосфер требуют много миллионов лет.

Далее, объектом тщательных исследований являлся мир «неподвижных» звезд, само название которых связано с тем,

---

\* Первая глава книги коллектива авторов «Проблемы современной космогонии», под редакцией В. А. Амбарцумяна. Печатается по тексту второго издания этой книги, «Наука», М., 1972, стр. 5—18. По сравнению с первым изданием (1969) глава частично переработана.

что изменения их положений за промежутки времени, в течение которых производились наблюдения, являются небольшими.

В конце XIX в. уже обращалось много внимания на физические изменения в состоянии звезд. Производились многочисленные наблюдения блеска звезд, в том числе переменных, начались исследования изменений в их спектрах.

Однако главное внимание уделялось *периодическим* переменным, таким, как цефеиды и звезды типа Миры Кита, у которых каждый период заканчивается возвращением приблизительно к первоначальному состоянию. Периодический характер изменений, наблюдаемых у этих объектов, сам по себе, еще ничего не говорит о направлении общего процесса развития.

Даже в отношении известных тогда неправильных переменных считалось, что звезда с течением времени должна сколь угодно близко вернуться к любому уже наблюдавшемуся ранее ее состоянию. Значение этих изменений для общей эволюции звезды оставалось совершенно неясным.

Единственными известными тогда объектами, нестационарными в современном смысле слова (т. е. подверженными таким изменениям, которые сильно преобразуют состояние объекта, исключая возможность его возврата к прежним состояниям), были: короткопериодические кометы—в Солнечной системе и Новые звезды—в Галактике. Что касается еще более глубоких изменений крупного масштаба, то, пожалуй, единственным, но имеющим фундаментальное значение открытием была обнаруженная дерптским астрономом Гартвигом в 1885 г. вспышка Сверхновой вблизи ядра туманности Андромеды. Конечно, в то время еще никто не предполагал, что Сверхновые звезды—особая категория мощных взрывных явлений, происходящих в звездных системах. (С тех пор в Местной системе галактик, т. е. на относительно близких расстояниях от нас, не было обнаружено ни одной другой Сверхновой, так что наблюдения Гартвига продолжают сохранять и сейчас огромное значение).

«Спокойная» картина медленно меняющегося мира, в котором состояние всех объектов почти стационарно, полностью гармонизировала со стройными механистическими представлениями о Вселенной, развитыми на основе небесной механики

и только что зародившейся астрофизики, изучавшей главным образом равновесное тепловое излучение звезд.

## § 2. НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ОБЪЕКТЫ В ГАЛАКТИКЕ

В XX в. накопление наблюдательных данных о звездах и звездных системах происходило все возрастающими темпами. Уже первая четверть столетия значительно превзошла в этом отношении достижения астрономии XIX в. Последующие десятилетия привели к дальнейшему быстрому росту темпов получаемой информации. Это обстоятельство, наряду с развитием теоретической астрофизики, послужило толчком для развертывания более систематических и глубоких исследований по выявлению нестационарных состояний и процессов, в частности, и среди тех, которые на первый взгляд кажутся совершенно стационарными.

Начало XX в. ознаменовалось открытием вспышки Новой звезды в Персее. Наблюдения последствий этой вспышки в значительной мере содействовали правильному пониманию явлений Новых звезд. Было выявлено, что как при этой вспышке, так и при вспышках других Новых возникали небольшие расширяющиеся газовые туманности; их вещество было выброшено из звезд в результате взрывов.

Развитие теоретической астрофизики позволило количественно оценить масштаб не только звездных взрывов, но и многих других явлений, прежде считавшихся стационарными, которые, как оказалось, ведут к глубоким необратимым изменениям в состоянии звезд. В качестве примера рассмотрим звезды типа Вольфа-Райе. Спектральный анализ показал, что из атмосфер этих звезд происходит непрерывное истечение вещества. Измерение интенсивностей линий позволило рассчитать количество вещества, выбрасываемое одной звездой Вольфа-Райе за год:  $10^{-5} - 10^{-6} M_{\odot}$ . Это означает, что уже за несколько десятков тысяч лет, т. е. за короткий по космическим масштабам промежуток времени, может произойти существенная убыль массы звезды Вольфа-Райе, что ведет к изменению ее физического состояния, к переходу звезды из одного состояния к другому, резко отличному от первоначального. С другой стороны, наблюдения показали, что в течение десятилетий не происходит заметных изменений в характере спектра звезды. Таким образом, сам факт отно-



нительного постоянства спектра большинства этих звезд, а следовательно, и процесса истечения вещества из их атмосфер, приводит к выводу, что за короткое (по космическим масштабам) время происходит резкое изменение состояния звезды. Любопытный случай, когда за эмпирической констатацией неизменности наблюдаемых характеристик объекта скрывается факт грандиозных и притом довольно быстрых изменений в его состоянии!

Следует отметить, что в первой трети XX в. вопросы происхождения и развития небесных тел в большинстве случаев рассматривались на основе, главным образом, умозрительных рассуждений, причем огромное количество появившихся тогда наблюдательных данных почти не использовалось или прямо игнорировалось. В соответствии с традицией, восходящей к космогоническим гипотезам XVIII—XIX столетий, считалось, что все небесные тела возникли из некогда существовавшей протяженной туманности. Тот факт, что в нашей Галактике мы сейчас не наблюдаем очень больших масс диффузной материи и подавляющая часть ее вещества сосредоточена в звездах, с этой точки зрения означал, что процесс образования звезд Галактики завершился в какую-то отдаленную эпоху в прошлом, причем Галактика в ее современном состоянии не переживает сколько-нибудь быстрого, доступного наблюдениям развития.

Очевидно, однако, что, высказывая те или иные суждения об изучаемом объекте и его эволюции, мы должны исходить не из априорных допущений, а из анализа свойств данного объекта, выведенных на основе обобщения наблюдательных данных. Такой подход опирается на диалектико-материалистический принцип, согласно которому каждому уровню материального мира соответствуют свои собственные структурные и эволюционные закономерности.

Исследования, основанные на систематическом применении такого подхода, начались впервые в 30-х годах в Ленинградском университете. Они привели к формулировке новых представлений о темпах и путях развития многих типов звезд и звездных систем [1—3].

Методами теоретической астрофизики было показано [4], что планетарные туманности не могут быть стационарными объектами. Почти одновременно было открыто явление их расширения. В этом случае, так же как и в случае Новых

звезд, мы имеем дело с выбросом звездой газовых масс, которые и превращаются в туманность. Анализ наблюдательных данных относительно стационарности или нестационарности звезд и звездных групп, входящих в Галактику, показал, что наша Галактика, в противоположность общепринятым ранее представлениям, является системой, в которой происходят бурные и подчас весьма быстрые изменения.

Применение принципов звездной динамики к открытым звездным скоплениям [1] привело к выводу, что даже если такие скопления находятся в «стационарном» состоянии, в результате взаимодействия звезд они должны как бы «испаряться». Отдельные звезды с течением времени уходят из скопления подобно молекулам на поверхности жидкости. В результате этого процесса многие скопления должны будут исчезнуть в течение всего лишь нескольких сотен миллионов лет, а некоторые из них—даже в течение немногих десятков миллионов лет.

Такому же анализу была подвергнута совокупность визуально-двойных звезд Галактики [3]. Выяснилось, что процессы распада звездных пар, происходящие вследствие их встреч со звездами окружающего поля, доминируют над процессами возникновения новых пар при случайных сближениях звезд.

Количество одиночных звезд в общем звездном поле Галактики постоянно растет за счет распада скоплений и визуально-двойных звезд, причем этот процесс идет только в одном направлении. Таким образом, *распад и рассеяние* (в полном соответствии со вторым началом термодинамики) характеризуют *общую направленность* процессов в нашей Галактике и, как оказалось впоследствии, также в других галактиках.

В этих работах было также сформулировано понятие «короткой шкалы» возраста Галактики и образующих ее звезд [5]. Согласно «долгой шкале», принятой в начале 30-х годов, предполагалось, что возраст звезд Галактики составляет  $10^{12}$ — $10^{13}$  лет. Но открытие неизбежного распада звездных групп и скоплений за сравнительно короткие сроки свидетельствовало, что Галактика в ее современном состоянии не может иметь возраст, превосходящий (по порядку величины)  $10^{10}$ — $10^{11}$  лет.

В 30—40-е годы были получены новые важные данные о направленности процессов в звездных системах и о возрастах звезд в Галактике. Например, оказалось, что Сверхновые представляют собой особый класс звезд, вспышки которых по своей мощности значительно превосходят вспышки обыкновенных Новых [6]. Энергия, освобождаемая при взрыве Сверхновой, составляет  $10^{50}$  эрг, что по порядку величины сравнимо с тепловой энергией, содержащейся в газовой звезде. Совершенно очевидно, что взрыв Сверхновой представляет собой процесс перехода звезды из одного состояния в другое, качественно от него отличное. Вместе с тем, редкость Сверхновых свидетельствует, что вспыхивать, как Сверхновые, могут не все звезды, а только некоторые их типы.

Как теперь известно, в результате взрыва Сверхновой возникают гигантские туманности, иногда дающие, наряду с оптическим, также и радиоизлучение.

Факты доказывают, следовательно, что возникновение туманностей из звезд—довольно распространенное явление. Наоборот, мы не знаем пока ни одного случая, когда из диффузной материи возникал бы плотный объект, хотя такие переходы, допускаясь в старых космогонических гипотезах, берутся за основу и во многих распространенных до сих пор космогонических теориях.

В результате работ бюраканских астрономов в конце 40-х годов было установлено существование нового типа звездных систем, *звездных ассоциаций*—недавно возникших групп, распадающихся непосредственно после своего рождения [7]\*. Эти системы в большинстве оказались нестационарными в полном смысле слова, поскольку входящие в них звезды быстро удаляются друг от друга. Тем самым оказалась нестационарной и наша Галактика, поскольку процесс возникновения молодых звезд (в виде звездных ассоциаций) продолжается в ней и в современную эпоху.

Открытие звездных ассоциаций пролило новый свет и на давно известные данные о таких кратных звездах, как, например, Трапеция Ориона. Внешне как будто ничто не указывало на неустойчивость систем типа Трапеции. Между тем оказалось, что они распадаются в ничтожно короткие с кос-

---

\* См. статью «Эволюция звезд и астрофизика» (стр. 213 настоящего сборника).

могониической точки зрения сроки—порядка  $10^6$  лет и меньше.

Вместе с тем это открытие явилось сильным аргументом в пользу представления о *рассеянии* вещества из первоначальных малых объемов как важнейшей части процесса космической эволюции. С другой стороны, наблюдения по-прежнему не давали никаких указаний на возможность перехода из диффузного состояния в более плотное.

Наряду с горячими гигантами оказались молодыми объектами переменные звезды-карлики типа Т Тельца. Особенно много было их открыто в ассоциации Ориона. Однако наиболее молодыми из всех изучаемых в настоящее время звездных объектов являются так называемые объекты Хербига—Аро. Как показали наблюдения, эти объекты содержат в себе звезды, которые способны за короткий срок вспыхнуть и затем долго (по крайней мере, много лет) оставаться в состоянии максимальной яркости. Аналогичное увеличение блеска (возрастание его в сто раз и более), как было недавно обнаружено, может происходить и на стадии развития Т Тельца. Звезды, претерпевающие подобное изменение, получили название фуоров. Светимость фуора в максимуме блеска во много раз превосходит максимальную светимость объектов, вспыхивающих внутри объектов Хербига—Аро. Эти факты доказывают, что чем более ранний этап формирования молодых звезд мы рассматриваем, тем более «неожиданным» и удивительным является поведение звезды. Эта «неожиданность» связана с недостаточностью всех существующих теорий эволюции звезд.

### § 3. НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ДРУГИХ ГАЛАКТИКАХ. КОСМОГОНИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЯДЕР ГАЛАКТИК

В 30-е годы еще не было достаточного количества данных о галактиках. Имевшаяся тогда классификация галактик Хаббла фиксировала только существование некоторых правильных форм галактик, которые свидетельствовали об известной степени их стационарности. Однако в послевоенный период введение в строй крупных телескопов системы Шмидта позволило значительно расширить наши знания о звездных системах. Было опровергнуто представление Хаббла о равномерном распределении галактик в пространстве. Оказалось, что большинство их входит в группы и скопления [8], тогда как существование общего поля галактик, заполняющего

пространство между скоплениями и группами, было вообще подвергнуто сомнению.

В 50-х годах было установлено существование среди галактик, их групп и скоплений значительного количества явно нестационарных систем. Для очень многих групп и скоплений галактик была обнаружена очень большая дисперсия скоростей, что свидетельствует о неустойчивости соответствующих групп. Для объяснения этого явления было выдвинуто следующее представление: галактики каждого скопления с момента его возникновения получили столь большие скорости, что силы взаимного притяжения недостаточны для сохранения скопления как системы. Более того, оказалось, что среди кратных галактик процент неустойчивых систем типа Трапеции во много раз выше, чем среди кратных звезд. Иными словами, вместо отдельных проявлений нестационарности мы наблюдаем повсеместные процессы распада скоплений и групп галактик.

В чем причина этого различия между звездными группами и группами и скоплениями галактик?

Звездные ассоциации распадаются за время всего лишь порядка  $10^7$  лет, тогда как жизнь звезды обычно продолжается миллиарды лет. Поэтому даже если звездообразование идет очень интенсивно, звезды, уже вышедшие из групп и вошедшие в состав общего звездного поля, составляют подавляющее большинство. Иное положение в мире галактик. Время распада скоплений и кратных систем измеряется здесь сотнями миллионов и миллиардами лет. Но так как и возраст галактик измеряется сроками ненамного большими, значительный процент галактик еще не успел уйти из неустойчивых скоплений и групп.

Новые возможности изучения нестационарных явлений в галактиках открыла радиоастрономия.

Большинство объектов, открытых радиоастрономическими методами—радиотуманности и радиогалактики—являются, по существу, нестационарными и могут радиоизлучать лишь в течение коротких промежутков времени. Рассмотрим, например, две таких интенсивных радиотуманности, как Кассиопея А и Крабовидная туманность. Возраст каждого из этих объектов не превосходит 1000 лет. Они возникли в результате вспышек Сверхновых. Что касается радиогалактик, то хотя длительность их радиоизлучения измеряется миллио-

нами лет, все же этот срок мал по сравнению с возрастом галактик. Иными словами, радиогалактики—кратная, преходящая, хотя, может быть, повторяющаяся фаза эволюции галактик.

Изучение радиогалактик привело к обоснованию идеи о гигантских взрывных процессах, происходящих в ядрах галактик. Дело в том, что явление радиогалактики связано с возникновением больших радиоизлучающих масс рассеянного вещества в существовавшей до этого обычной галактике. Откуда могли взяться эти массы? Во внешних частях галактик, как показал анализ проблемы, соответствующих механизмов не существует. С другой стороны, природа внутренних частей галактик, в частности их ядер, была неизвестна. Естественно было допустить, что именно из ядра могут выбрасываться массы, которые затем превращаются в радиоизлучающие облака. Эти облака довольно быстро удаляются от ядер; отсюда следовало, что весь процесс носит взрывной характер. Если тот период жизни галактики, когда она испускает интенсивное радиоизлучение, назвать *радиовспышкой* галактики, то можно утверждать, что радиовспышка галактики является результатом гигантского взрыва в ее ядре. Представление о взрывах в ядрах галактик встретило сначала огромное сопротивление со стороны тех астрономов, которые продолжали считать, что космическая эволюция заключается прежде всего в концентрации диффузного вещества. В противовес представлению о взрывах ими была предложена и приобрела широкую популярность ни на чем не основанная гипотеза о том, что причиной радиовспышек являются столкновения галактик. Понадобилось почти десять лет, чтобы эта необоснованная и неплодотворная гипотеза потеряла всякий научный кредит. Однако даже для сторонников представления о взрывах в ядрах галактик оказались неожиданными те прямые подтверждения, которые это представление получило уже в начале 60-х годов, когда был открыт взрыв, происшедший всего 1,5 миллиона лет назад в ядре галактики М 82 [9] и изучены движения в околоядерных областях сейфертовских галактик. Тем самым было обосновано введенное несколько ранее понятие *космогонической активности ядер* галактик.

Сопоставление этих фактов с множеством данных, относящихся к внешне «спокойным» галактикам, позволило нам еще в середине пятидесятых годов сформулировать идею о

фундаментальной роли ядра в формировании всей галактики и ее дальнейшей эволюции. Эта идея нашла свое подтверждение в открытии квазизвездных радиоисточников и других компактных объектов, в которых ядро является доминирующим объектом в галактике.

Огромное значение для дальнейшего развития идеи о роли ядер в эволюции галактик имели открытие большого количества галактик Маркаряна (галактик с аномально интенсивным ультрафиолетовым излучением) и тот факт, что значительное их число оказалось по своей природе сходно с сейфертовскими галактиками, где происходит выброс вещества из ядра. И если до сих пор о происшедших выбросах значительных масс вещества из ядер галактик можно было догадываться на основе изучения оставшихся их следов и результатов, то в самое последнее время удалось наблюдать в галактике Маркарян 6 выброс, происшедший буквально на наших глазах. Оказалось, что на старых спектрограммах нет следов излучения этого выброса, а в 1970 г. имеется излучение, спектральные линии которого смещены на величину, соответствующую  $3000 \text{ км/сек}$  по отношению к линиям остального ядра. Таким образом, представление о взрывах в ядрах получило совершенно наглядное подтверждение.

При изучении галактик особенно резко проявились два различных подхода к изучению мощных нестационарных процессов во Вселенной.

Один подход заключается в стремлении построить модель явления, исходя лишь из уже известных законов механики и физики. При этом почему-то считают, что явления в мире галактик не представляют собой ничего качественно нового по сравнению с явлениями в системах меньшего масштаба, забывая, что природа гораздо богаче имеющихся в данный момент представлений о ней. Сторонники противоположного подхода считают необходимым строить представления о сущности астрофизических явлений на основе фактических данных, не только не закрывая глаза на трудности, которые возникают при попытке объяснить это явление на основе старых представлений, а, наоборот, сосредоточивая внимание на этих трудностях. Оценивая эти трудности, они делают заключения о возможности того, что столкнулись с качественно новыми явлениями и о направлении, в котором соответственно надо изменить привычные представления.

20 лет назад все астрономы считали, что ядра галактик состоят из обычных звезд. Поверхностное исследование оптического излучения ядер действительно может легко привести к такому заключению. Однако в результате более детальных наблюдений в оптическом и радиодиапазонах постепенно накопились фактические данные, заставившие принять гипотезу о наличии в ядрах также тел незвездной природы, в которых иногда происходят взрывы. Эта гипотеза получила сейчас настолько веские подтверждения, что является общепринятой. Тем самым была наглядно продемонстрирована плодотворность второго подхода.

Конечно, сторонникам первого из указанных подходов трудно было сразу понять, почему именно второй подход, основанный на последовательном обобщении наблюдательных данных, оказался таким плодотворным. Согласившись с существованием взрывов в ядрах галактик, они стали объяснять их не как результат освобождения энергии, заключенной в ядре, т. е. с точки зрения нового, не известного до сих пор свойства вещества, а как следствие гравитационного коллапса диффузного вещества. Таким образом, для объяснения взрыва и рассеяния вещества была выдвинута основанная на традиционных идеях гипотеза о катастрофически быстрой его конденсации!

Как показало время, гипотеза коллапса оказалась совершенно бесполезной, не говоря уже о многих логических трудностях и противоречиях, появляющихся при попытке построить модель такого явления. Между тем наблюдения прямо указывают нам на такое свойство вещества ядра, находящегося в плотном или сверхплотном состоянии, как способность нести в себе большие запасы энергии, сохраняя их до очередного взрыва. Другой вопрос, можно ли это свойство ядра объяснить, исходя из известных законов теоретической физики. Хотя мы не знаем, как именно это можно сделать, возможность построения модели ядра галактики с наблюдаемыми свойствами на основе известных нам законов теоретической физики нельзя считать полностью исключенной. Если же окажется, что этого сделать нельзя, будет неизбежен вывод, что законы теоретической физики в их известном виде здесь неприменимы. Такая возможность кажется не только очень вероятной, но вместе с тем и неудивительной, так как принятая сейчас форма основных законов физики базируется



на изучении свойств вещества хотя и в широком, но ограниченном диапазоне физических условий. В условиях, существующих, например, в ядрах галактик или в центре квазизвездных радиоисточников, эти законы могут оказаться неприменимыми и должны будут подвергнуться дальнейшим уточнениям и *обобщению*, что лишь усилит их значение и расширит область их применимости.

Остановимся на этом вопросе подробнее.

Законы физики представляют собой по существу обобщение определенной совокупности фактических данных, выраженное в возможно более простой и краткой форме. Однако нельзя думать, что система законов теоретической физики, полученная на каком-то определенном этапе развития науки, является абсолютно точной, законченной и не подлежащей дальнейшему обобщению. Эти законы лишь неполно, приближенно отражают объективную реальность и не только могут, но и должны подвергнуться уточнениям и обобщению. (Уточнение и обобщение законов природы—это обычно единый процесс. Например, переход от классической механики к специальной теории относительности явился и уточнением классической механики и обобщением ее на случай больших скоростей).

Такой взгляд исходит из анализа развития современного естествознания, которое открывает с течением времени все большее многообразие новых, ранее неизвестных явлений, качественно отличных от тех, с которыми оно имело дело прежде. Для объяснения фактических данных, характеризующих явления, в качественном отношении резко отличные от тех явлений, на основе изучения которых была сформулирована имеющаяся в данный момент система законов физики, люди уже не раз оказывались вынужденными обобщать физические законы и теории.

Именно такая потребность возникает и при изучении нестационарных процессов в ядрах галактик и квазизвездных объектах. Никогда в прошлом физика и астрономия не имели дела со случаями концентрации столь больших масс в относительно малых объемах. Речь идет о массах порядка  $10^{10}$  (а иногда даже более) солнечных масс, сосредоточенных в объемах, во много раз меньших, чем объем какого-либо звездного скопления. Речь идет о превращениях вещества, при которых плотность меняется в миллиарды раз, а напряжен-

ность гравитационного поля может достигать неслыханных величин. У нас нет и не может быть никакой гарантии, что известные нам законы физики соблюдаются и в этих условиях. И совсем не удивительно поэтому, если окажется, что имеющиеся уже сейчас большие трудности теоретического истолкования ряда нестационарных процессов могут перерасти с течением времени в прямое противоречие с известными нам законами теоретической физики.

#### § 4. НЕСТАЦИОНАРНОСТЬ—ЗАКОНОМЕРНАЯ ФАЗА КОСМОГОНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Итак, хотя длительность космогонических процессов в большинстве случаев настолько велика по сравнению с периодом астрономических наблюдений, что непосредственно заметить изменения, которые являются результатом этих процессов, как правило, невозможно, в жизни космических тел и их систем есть и такие этапы, когда в них возникают в ходе самого процесса развития новые силы, коренным образом меняющие их состояние. Именно в таких случаях мы говорим, что объект находится в нестационарном состоянии. Быстрота происходящих при этом изменений создает возможность либо наблюдать эти изменения непосредственно (вспышки Новых, Сверхновых и т. д.), либо делать выводы о них на основе очень многих косвенных данных (распад открытых звездных скоплений и звездных ассоциаций, взрывы в ядрах галактик).

Стоит отметить любопытный с точки зрения истории науки курьез: те астрономы, которые не понимают роли нестационарных объектов в космической эволюции, обычно склонны закрывать глаза на трудности, связанные с их истолкованием, рассматривая их как «уродов», выходящих за рамки общих закономерностей развития.

Известно, например, что в конце прошлого века была распространена гипотеза, согласно которой Новые звезды являются результатом исключительно редкого явления столкновения двух звезд, а вовсе не результатом, как мы знаем теперь, закономерностей внутреннего развития звезды. Та же самая история повторилась с радиогалактиками, только, пожалуй, в еще более жалкой форме. Какое-то время радиогалактики рассматривались как результат столкновения пар

галактик, хотя с самого начала было ясно, что статистические данные совершенно противоречат такому представлению.

Однако правильной оказалась противоположная точка зрения, исходящая из того, что нестационарные процессы представляют собой *закономерные* фазы космической эволюции, хотя в каждый данный момент процент космических объектов, переживающих поворотную эпоху развития, обычно мал и, во всяком случае, гораздо меньше, чем процент объектов, находящихся в стационарном состоянии (например, число звезд в ассоциациях мало по сравнению с числом звезд в общем звездном поле Галактики).

Однако самые последние исследования рентгеновских источников в Галактике и пульсаров не оставляют сомнений в том, что 1) эти тела являются сверхплотными объектами и 2) они нестационарны. Интересно, что именно в этом случае, когда в малом объеме сосредоточена относительно большая масса, нестационарность наблюдаемых явлений есть общее правило, не имеющее, по-видимому, исключений.

Нестационарные состояния обычно являются поворотным пунктом в развитии объекта, связанным с рождением новых тел (например, звездные ассоциации) или с переходом объекта из одного класса в другой (вспышки Сверхновых, приводящие к превращению звезды в туманность).

Следовательно, подробное изучение нестационарных или переходных явлений открывает путь для более полного понимания эволюции космических объектов. В самом деле, до середины 30-х годов, когда были получены первые важные данные о нестационарных объектах, эволюционные идеи не играли в астрофизике существенной роли, хотя большинство астрофизиков прекрасно понимали, что они имеют дело с изменяющимися, развивающимися объектами. Между тем сегодня вся астрофизика оказалась буквально пронизанной идеей эволюции звезд, звездных скоплений и галактик. Это, несомненно, явилось результатом большого внимания к изучению нестационарных объектов во Вселенной.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Амбарцумян, Ученые записки ЛГУ, № 22, серия матем. наук (астрономия) 4, № 19, 1938.
2. В. А. Амбарцумян, Ученые записки ЛГУ, 3, № 17, 1937.

3. В. А. Амбарцумян, Астрон. ж., **14**, 20, 1937.
4. В. А. Амбарцумян, Изв. Пулковской обсерв., 13, № 114, 1, 1933.
5. В. А. Амбарцумян, Nature, **137**, 537, 1937.
6. W. Baade, F. Zwicky, Proc. Nat. Acad. Sci., **20**, 259, 1934.
7. В. А. Амбарцумян, Эволюция звезд и астрофизика, Ереван, 1947.
8. F. Zwicky, Morphological Astronomy, Berlin, 1957, стр. 28.
9. C. R. Lynds, A. R. Sandage, Ap. J., **137**, 1005, 1963.

## О ЯДРАХ ГАЛАКТИК\*

Как известно, астрономия делится на три основных раздела:

а) астрономия Солнечной системы, изучающая Солнце, планеты, спутники и кометы;

б) астрономия нашей Галактики, исследующая устройство нашей звездной системы и физические свойства ее членов: звезд, звездных скоплений и туманностей;

в) внегалактическая астрономия, изучающая галактики и другие внегалактические тела и системы.

Объем мирового пространства, исследуемый вторым из этих разделов, почти в  $10^{20}$  раз больше объема, изучаемого первым разделом, а объем, изучаемый в третьем разделе, в  $10^{16}$  раз больше, чем во втором. В настоящей статье речь пойдет о третьем разделе—о внегалактической астрономии.

Будем считать известным, что галактики—гигантские звездные системы, каждая из которых содержит миллиарды звезд, а иногда (галактики-сверхгиганты)—сотни миллиардов звезд. К числу сверхгигантских галактик может быть отнесена и наша Галактика. Более ярким сверхгигантом, обладающим к тому же большей массой и более богатым звездным населением, является один из близких соседей нашей Галактики—система М 31 в созвездии Андромеды.

Является бесспорным тот факт, что, как правило, все галактики имеют более плотные центральные части, то есть их яркость и плотность возрастают к центру. Но кроме этого более или менее плавного возрастания яркости к центру, было отмечено у многих галактик наличие в самом центре очень

---

\* Доклад на Общем собрании Академии наук СССР 27 ноября 1968 г. Печатается по переработанному тексту, напечатанному в Международном ежегоднике «Наука и человечество», АН СССР—Общ-во «Знание», М., 1969, стр. 312—327.

маленьких по размерам (иногда в сотни, а иногда в тысячи раз меньше, чем диаметр галактики) дискретных, звездообразных сгущений. Временами, при хорошо подобранной экспозиции, эти дискретные сгущения, звездообразные или почти звездообразные ядра очень хорошо видны на фотографиях, на фоне общего центрального уплотнения, о котором говорилось выше. Но в большинстве случаев при рассмотрении снимков галактик они совершенно незаметны, так как с целью получения снимка галактики в целом применяются длительные экспозиции, в результате чего центральная часть оказывается передержанной и дискретное звездообразное сгущение в центре не видно.

Вот эти центральные звездообразные или почти звездообразные сгущения и называются ядрами галактик. Например, галактика в созвездии Андромеды имеет такое ядро, диаметр которого в пять тысяч раз меньше, чем диаметр самой галактики. На рис. 1, 2, 3\* представлены снимки хорошо известных галактик М 31 и М 81, на которых ядра совершенно тонут на фоне яркого центрального сгущения, и снимок галактики Маркарян 10, где ядро, благодаря своей огромной светимости резко выделяется.

Галактика Маркарян 10 по относительной яркости своего ядра, или, другими словами, по его различимости, является весьма редким объектом. Однако во многих других случаях можно подобрать экспозицию так, что ядро все-таки видно. Есть, однако, галактики, где благодаря своей слабости ядро не может наблюдаться совсем, но, исходя из строения центральной части галактики, все же можно почти с уверенностью утверждать, что оно существует.

Несколько забегаая вперед, я хочу сказать, что у целого ряда галактик, у которых ядро вовсе не видно, о его существовании можно судить по прямым признакам его активности. Известно, например, что в галактике М 82 примерно полтора миллиона лет тому назад произошел грандиозный взрыв и из его центральной части к нам доходит интенсивное радиоизлучение. Но на снимках М 82, полученных с разной экспозицией, вы не видите изображения ядра (рис. 4). Либо оно очень слабо, либо же оно скрыто от нас поглощающей материей. Заметим, что по этой же последней причине мы не

\* Все рисунки в настоящем издании опущены.

видим в оптических лучах ядра нашей Галактики, и только благодаря заметному радиоизлучению ядра мы уверены в его существовании. Есть и такие случаи, когда излучение ядра складывается с излучением окружающего его довольно плотного, но небольшого по объему звездного облака. Примером может служить галактика NGC 4303 (рис. 5).

В течение многих десятилетий на ядра галактик смотрели так же, как на другие рядовые детали строения соответствующих галактик, и их изучению посвящалось сравнительно мало внимания.

Были изучены только некоторые факты, относящиеся к их физической природе, не дававшие вовсе оснований приписывать ядрам ту фундаментальную роль, которую они на самом деле играют.

Считалось, что спектры многих ядер мало отличаются от спектров окружающих центральных областей, т. е. показывают неглубокие, размытые линии поглощения, по своим длинам волн совпадающие с наиболее интенсивными линиями поглощения тех звезд, которые населяют центральные области галактик.

Это давало основание считать, что каждое ядро—своеобразное звездное скопление, погруженное в центральную часть галактики. Малая глубина линий поглощения правильно объяснялась тем, что здесь происходит наложение света звезд, одни из которых имеют в спектре данную линию, а другие нет. Размытость линий объяснялась дисперсией доплеровских смещений, связанной с дисперсией скоростей самих звезд. Цвета ядер многих галактик оказались в хорошем согласии с этим представлением.

Что касается светимости ядер, то она оказалась самого различного порядка. У многих галактик она настолько низка, что мы не наблюдаем ядро в оптических лучах, у других она составляет от одной десятой до двух-трех процентов светимости галактики. И лишь в отдельных случаях она составляет значительную часть светимости галактики.

Поскольку в галактиках часто встречаются в качестве отдельных коллективных членов этих галактик шаровые и открытые звездные скопления, то существование ядер, по представлениям сороковых годов, состоящих целиком из звезд, не вызывало ни особо трудных вопросов, ни больших недоумений.

В этой обстановке не удивительно, что было обращено сравнительно мало внимания на работу американского астронома Сейферта, опубликовавшего в 1943 году замечательное исследование спектров ядер нескольких галактик, таких ядер, которые резко выделяются своей светимостью на фоне центральных частей галактики, составляя иногда до пятидесяти процентов ее яркости.

Им было найдено восемь таких галактик, у которых водородные линии, наблюдавшиеся в эмиссии (т. е. в излучении), очень ярки и сильно расширены. Большая ширина водородных линий свидетельствует о наличии в ядре газовых потоков, обладающих скоростями порядка 1000 км/сек, а иногда достигающих 3000 км/сек. Эти газы должны уходить из ядра, преодолевая силу его притяжения за сроки порядка нескольких десятков тысячелетий, самое большое—за время порядка  $10^5$  лет. Их наличие в ядре свидетельствует о том, что в ядрах имеются тела, выбрасывающие такие газовые потоки. Более подробные исследования ряда иностранных и советских астрономов показали, что речь идет о присутствии в ядре отдельных дискретных облаков, уходящих из ядра с большими скоростями.

Ряд более тонких исследований, относящихся к другим галактикам с менее яркими ядрами, показал, что и там мы наблюдаем истечение газов из ядра в окружающий объем галактики, хотя и менее бурное. По-существу, такое истечение имеет место и из ядра нашей Галактики. Открытие указанных выше свойств галактик Сейферта позволяло уже тогда заключить, что в отличие от звезд и обычных звездных групп ядра галактик могут обладать своеобразной, качественно новой для нас формой активности.

Однако решающее значение для развития представлений об активности ядер галактик имело обнаружение радиогалактик, т. е. галактик, испускающих особо интенсивное радиоизлучение. Радиогалактики были открыты впервые в 1952 году, причем авторы этого открытия американские астрономы Бааде и Минковский, одновременно с опубликованием наблюдений, предложили теорию, согласно которой возникновение радиоизлучения в галактике, т. е. появление радиогалактики, есть результат столкновения двух прежде независимых галактик. С самого начала было очевидно, что эта теория противоречит многим наблюдательным данным. Однако ее



внешняя эффективность явилась причиной того, что она была разрекламирована в пятидесятых годах и даже в начале шестидесятых годов гораздо больше, чем любая правильная астрономическая теория.

Еще в 1953 году, когда нам в Бюракане стало ясно, что это объяснение неверно, мы стали искать новое объяснение путем более тщательного анализа наблюдательных данных, сперва на основе гипотезы о разделении галактик, затем деления ядра галактики на две части, а потом взрывного выбрасывания из ядер облаков частиц высокой энергии. В настоящее время гипотеза о столкновении галактик совершенно забыта. Стало ясно, что в ядре каждой радиогалактики имел место сверхмощный взрыв, энергия которого достигает величин порядка  $10^{60}$  эрг, то есть порядка энергии, которую гигантская галактика, состоящая из десятков миллиардов звезд, испускает в оптической области за миллиард лет. Таким образом, приблизившись к пониманию природы радиогалактик, астрономы подошли к изучению грандиозных энергетических процессов во Вселенной.

Наблюдения одной из ближайших радиогалактик—Девы А—показали, что в ней наблюдается истекшая прямо из ядра струя с отдельными сгущениями, каждое из которых, по-существу, является образованием масштаба малой галактики, но состоящим не из звезд, а из электронов высокой энергии, движущихся в магнитных полях. Этот факт натолкнул нас на поиски других случаев, когда из ядра большой гигантской галактики выброшена струя. В качестве примера рассмотрим галактику NGC 3561 (рис. 6), у которой струя выходит непосредственно из ядра и протягивается на большое расстояние. Сгущение, имеющееся в конце струи, является, по-существу, галактикой умеренной светимости, (хотя и значительно слабее сверхгигантской галактики, из которой она выброшена). Это сгущение имеет интенсивно голубой цвет, как и многие другие объекты такого же типа, обнаруженные в дальнейшем. Спектр данного сгущения был изучен американскими астрономами Цвикки и совсем недавно Стоктоном. Оказалось, что оно сильно отличается от других галактик тем, что значительная часть ее излучения заключена в одной линии ионизованного кислорода 3727 А. Самым поразительным является то, что спектр выброса и спектр ядра галактики, из которой он выброшен, в отношении их главной

особенности—ярких эмиссионных линий—совершенно сходны. Поэтому теперь не может быть никакого сомнения, что это действительно выброс или, если хотите, деление ядра галактики на две части.

Мы не знаем еще, состоят ли подобные выбросы только из газов или же в них имеются и более плотные тела. Возможно, что это одно плотное тело, которое может дать начало звездам и превращению такого выброса в настоящую галактику. Имеется много дополнительных данных, которые свидетельствуют в пользу того, что галактики низкой светимости являются результатом выброса массы из ядер больших галактик, но их мы здесь не будем касаться. Отмечу только, что в середине струи галактики NGC 3561 имеется звездообразный, или, как теперь говорят, квазизвездный объект голубого цвета, с яркими линиями в спектре, который также можно считать отдельным выбросом. Да и сам большой выброс в его яркой части имеет очень небольшие угловые размеры. Так постепенно сформировалось представление о том, что из ядер галактик могут выбрасываться компактные или совсем звездообразные объекты голубого цвета сравнительно низкой светимости. Стало очевидным, что мы имеем дело по крайней мере с тремя формами активности ядер, первая—истечение газов, вторая—выбрасывание голубых сгустков и третья—взрывы, приводящие к превращению галактики в радиогалактику. Все эти явления оказались столь крупного масштаба, что не оставляли сомнения в возможности большого влияния ядра на развитие галактики в целом.

Новый этап в этих исследованиях связан с работой сотрудника Бюраканской обсерватории, члена-корреспондента Академии наук Армянской ССР Маркаряна. Им было обращено внимание на то, что известная довольно тесная зависимость между цветом галактики и ее морфологическим типом (при переходе от эллиптических галактик к спиральным и, далее, к иррегулярным, цвет становится все более голубым) иногда нарушается. Некоторые галактики имеют более голубой цвет, чем тот, который соответствует их морфологическому типу. Оказалось, что это отклонение цвета галактики от нормы (посинение) более велико, когда мы рассматриваем цвет центральной части, т. е. цвет суммарного излучения ядра и околоядерной области.

Мы знаем, что на периферии спиральных галактик в спиральных рукавах находится много ассоциаций голубых звезд, которые имеют голубой интегральный цвет. Однако посинение центральных частей галактик, о котором идет речь, не может быть вызвано этим нормальным голубым излучением звездных ассоциаций. Голубой цвет центральных частей галактик должен быть вызван какой-то дополнительной причиной, предположительно связанной опять-таки с деятельностью ядра.

Очевидно, мы имеем дело с каким-то дополнительным излучением, которое мы называем в Бюракане «незвездным» или «нетепловым». Было решено прежде всего исследовать объекты, выделенные Маркаряном, на предмет поисков нетеплового радиоизлучения. Соответствующие наблюдения были выполнены нашим радиоастрономом Товмасыном на двух крупнейших австралийских радиотелескопах в Парксе и Молонгло. Оказалось, что более половины объектов начального списка Маркаряна обладают радиоизлучением, исходящим из центральной области около ядра. Следует предупредить, что эти объекты—не радиогалактики, а гораздо менее интенсивные радиоисточники, дающие, однако, сильное нетепловое излучение от маленькой центральной области оптической галактики. Параллельные исследования радиоизлучения от других, главным образом спиральных галактик, имеющих нормальный цвет, показали, что и среди них имеются объекты, дающие радиоизлучение от центральной области. Однако процент подобных объектов среди нормальных галактик в несколько раз меньше.

Таким образом, было найдено новое проявление активности ядер, выражающееся в голубом цвете ядра и околоядерной области. Кстати, отметим, что голубой цвет означает наличие интенсивного ультрафиолетового спектра (ультрафиолетового континуума) у центральных частей данной галактики. Поэтому наличие аномального цвета можно заменить другим, почти эквивалентным признаком—присутствием ультрафиолетового континуума.

Надо сказать, что данные о цветах (показателях цвета) известны только для небольшого числа галактик. Накопление этих данных в астрономии шло чрезвычайно медленно, так как каждая галактика наблюдалась в отдельности со щелевым спектрографом, либо же с фотоэлектрическим фотомет-

ром. Естественно, что наблюдатели были вынуждены ограничиться изучением спектров и цветов наиболее ярких галактик.

Положение дел совершенно изменилось после того, как в Ленинграде были изготовлены самые большие в мире объективные призмы для большого метрового телескопа Шмидта Бюраканской обсерватории. Благодаря этим призмам стало возможным получать с небольшой дисперсией одновременно много спектров звезд и галактик, находящихся в довольно большом поле площадью около двадцати квадратных градусов. Произведя такой снимок, мы можем сразу выбрать среди сотен или тысяч галактик (то же относится к звездам) те спектры, которые обладают тем или иным интересующим нас свойством. В данном случае таким свойством было наличие интенсивного ультрафиолетового континуума. После этого выделенные таким образом галактики можно было передать для изучения на щелевых спектрографах с большой дисперсией. Так возникли списки голубых галактик (точнее, галактик с ультрафиолетовым континуумом) Маркаряна.

Уже наблюдения с малой дисперсией показали Маркаряну, что галактики с интенсивным ультрафиолетовым континуумом часто имеют в спектре центральной части яркие эмиссионные линии (в отличие от нормальных галактик). Была достигнута договоренность о том, чтобы бюраканские астрономы могли использовать для более подробного исследования галактик Маркаряна спектрографы на крупнейших американских рефлекторах. Эту задачу поручили другому сотруднику нашей обсерватории Хачикяну, который в сотрудничестве с американскими астрономами успешно с ней справился. Оказалось, что среди галактик, открытых Маркаряном, имеется много интересных объектов.

Прежде всего я хочу подчеркнуть, что списки галактик Маркаряна составлены по признаку наличия в их ядрах интенсивного ультрафиолетового континуума. Однако наблюдения со щелевыми спектрографами, охватившие около полусотни галактик Маркаряна, показали, что за редким исключением все они имеют очень яркие эмиссионные линии. Первый же пример—галактика Маркарян 1, как видно из спектрограммы (рис. 7), свидетельствует об этом. Здесь видны яркие запрещенные линии дважды ионизованного кислорода. Следует обратить внимание также на спектр галактики Маркарян 3, где эти запрещенные линии гораздо шире водород-

ных линий. Такую же картину мы видим на следующем снимке (рис. 8) в спектре галактики Маркарян 5. Но уже в спектре Маркарян 13 положение выравнивается и водородная линия  $H_{\beta}$  имеет ту же ширину, что и запрещенные линии.

Совершенно иное положение в спектрах галактик Маркарян 9, 10 и Маркарян 42 (рис. 9, 10). Правда, и здесь существуют интенсивные линии эмиссии, но можно заметить, что в них водородные линии сильно расширены, в то время как запрещенные линии ионов кислорода остаются узкими. Это, между прочим, и есть важнейшая характеристика спектров галактик Сейферта. Как я уже упоминал, в их ядрах газовые облака движутся со скоростями порядка тысяч километров в секунду. На изображении галактики Маркарян 10 ядро галактики выделяется как особо интенсивный объект.

Теперь рассмотрим фотографию галактики Маркарян 9 (рис. 11). Здесь ядро дает большую часть света галактики. Таким образом, вновь открытые галактики обладают и этим характерным признаком галактик Сейферта. По существу, Хачикяну удалось открыть среди галактик Маркаряна четыре объекта типа Сейферта. Для сравнения укажем, что за 25 лет, прошедших с опубликования работы Сейферта, к его первоначальным объектам этого типа было прибавлено лишь 3. А ведь пока изучено меньше четверти открытых Маркаряном галактик с ультрафиолетовым континуумом\*.

Около половины галактик Маркаряна обладает тем же свойством, что и излучение ультрафиолетового континуума, и излучение в эмиссионных линиях сконцентрировано в небольшой околоядерной области. В этом смысле они (т. е. половина галактик Маркаряна) являются компактными объектами и напоминают квазизвездные объекты (квазары), которые были открыты в 1963 году.

Однако светимость всех этих компактных объектов гораздо ниже средней светимости известных нам квазаров (по крайней мере в двести раз слабее), хотя и намного выше, чем светимость тех компактных выбросов из галактики NGC 3561, о которых говорилось выше.

---

\* Среди 503 галактик с ультрафиолетовым избытком излучения, содержащихся в опубликованных к 1973 г. списках Б. Е. Маркаряна, около 40 оказались сейфертовскими.

Если же говорить только о галактиках с номерами 9, 10 и 42 из списка Маркаряна и об одной из компактных галактик списка Цвикки, то светимости их ядер (подчеркиваю, одних лишь ядер) уже вполне сравнимы с интегральными светимостями гигантских и сверхгигантских галактик. Таким образом, ядра новых галактик типа Сейферта, найденных Хачикуном, по многим своим свойствам близки к квазизвездным объектам. С другой стороны, те из них, у которых наблюдатели искали радиоизлучение, не показали ощутимого потока такого излучения. Отсюда следует, что, несколько уступая квазарам в оптической светимости, эти объекты во много раз больше уступают им в радиосветимости.

Поскольку мы затронули вопрос о сходстве явлений, наблюдаемых в активных ядрах галактик, со свойствами квазаров, т. е. квазизвездных радиоисточников, я позволю остановиться на последних.

Квазизвездные радиоисточники обладают в наиболее крайней и наиболее ярко выраженной форме теми свойствами, которыми активные ядра галактик отличаются от других ядер и от других галактик. Выше мы видели, что этими свойствами являются: 1) высокая светимость, 2) голубой цвет и наличие ультрафиолетового континуума, 3) компактность и 4) присутствие ярких эмиссионных линий в спектрах. Прибавим сюда переменность светимости во времени, о которой мы не упоминали.

Переменностью блеска отличаются многие из квазаров (возможно, все, этот вопрос только изучается) и ядра галактик Сейферта, а может быть, и другие активные ядра. При этом наибольшая амплитуда изменения в обоих случаях наблюдается в оптических лучах, в ультрафиолете и в радиодиапазоне (в сантиметровых волнах).

Что касается интенсивного радиоизлучения, характерного для квазаров, то оно встречается у активных ядер галактик, даже у галактик типа Сейферта сравнительно редко, хотя более слабое радиоизлучение, по-видимому, имеется у всех активных ядер.

Нужно сказать, что еще в 1965 году американский астрофизик Сандейдж вместе с сотрудниками привел наблюдательные данные, свидетельствующие о существовании квазизвездных внегалактических объектов высокой светимости, отличающихся от квазаров лишь тем (и это особенно касается

наблюдательных данных), что они не дают интенсивного радиоизлучения.

Сандейдж тогда выразил мнение, что таких квазизвездных оптических источников имеется примерно в пятьсот раз больше, чем квазаров. Анализ аргументов Сандейджа показал, что хотя такие, так сказать, оптические квазары существуют, он резко переоценил их численность. Так, например, обсуждение этого вопроса в Бюракане говорило скорее о том, что число квазизвездных оптических объектов лишь в 50 раз превосходит число квазаров той же видимой яркости. В прошлом году было опубликовано новое исследование Сандейджа по этому вопросу. Оно убеждает в том, что первоначальная оценка Сандейджа была преувеличена в 5 раз, т. е. можно грубо считать, что оптических квазизвездных объектов примерно в 100 раз больше, чем квазаров.

По существу, и те и другие можно объединить в один общий класс голубых квазизвездных объектов, небольшая часть которых испускает интенсивное радиоизлучение.

Таким образом, и по этому признаку устанавливается сходство между активными ядрами галактик и квазизвездными голубыми объектами.

Надо заметить, что при обсуждении в Бюракане опубликованного в 1968 году списка квазизвездных голубых объектов Сандейджа было обнаружено, что один из них—В 340—является, по-существу, голубой галактикой, ранее открытой Маркаряном. Поскольку это галактика, а не квазизвездный объект, то он не должен был входить в список Сандейджа. Велико было наше удовлетворение, когда мы нашли замечание Сандейджа к своему списку, в котором он отмечает, что объект, по-видимому, не является вполне точечным (звздообразным) и скорее представляет собой галактику.

Обратных случаев, чтобы квазизвездные объекты заметно вошли в списки Маркаряна, не было обнаружено. Следует иметь в виду, что речь идет в обоих случаях о труднейших наблюдениях весьма слабых объектов, получение спектров которых находится на границе возможностей наших телескопов. Поэтому такое согласие результатов, полученных совершенно разными инструментами, является обнадеживающим фактом.

Что касается частоты встречаемости объектов различных типов на небе, то я приведу лишь две очень грубые оценки.

Известно, что самым полным современным звездным атласом является Паломарский фотографический атлас неба, который содержит изображения объектов до 21-й видимой фотографической величины. Можно считать, что этот атлас должен содержать до одного или двух миллионов голубых квазизвездных объектов, до одного миллиона галактик с ультрафиолетовым континуумом, среди которых не менее пятидесяти тысяч галактик Сейферта. Однако квазизвездные объекты могут наблюдаться на гораздо больших расстояниях, чем галактики с ультрафиолетовым континуумом. Поэтому мы их наблюдаем в гораздо большем объеме пространства. Если пересчитать те же численности на единичный объем пространства, то окажется, что галактики с ультрафиолетовым континуумом встречаются вокруг нас в десятки раз чаще, чем голубые квазизвездные объекты. Что же касается галактик с нормальными, неактивными ядрами, то их число на два порядка выше, чем число галактик с ультрафиолетовыми ядрами. Таким образом, вырисовывается следующая схема общей классификации внегалактических объектов по степени их компактности и по светимости ядер: 1) галактики с нормальными ядрами без признаков значительной активности последних, 2) галактики с активными (возбужденными) ядрами, среди которых можно выделить галактики Сейферта, как объекты с весьма активными ядрами, и 3) голубые квазизвездные объекты, в число которых входят и квазары. При этом в каждой из этих групп можно найти объекты с более или менее интенсивным радиоизлучением.

Активность ядер галактик и квазаров, как указывалось, выражается в выделении огромных количеств энергии. Причем это выделение происходит часто в короткие сроки в виде взрывов, выбрасывания огромных сгустков и облаков газов, массы которых в миллионы раз превосходят массу Солнца, в виде возбуждения эмиссионных линий и ультрафиолетового континуума в окружающем ядро газе.

Понятно, что с момента обнаружения этих явлений встал вопрос об их причинах, об источниках огромных количеств энергии и вещества, освобождающихся в результате активности ядра.

Было обращено внимание на то, что все рассматриваемые активные процессы в ядрах связаны с рассеянием выделенной в небольшом объеме энергии, с рассеянием вещества, с пере-



ходом вещества из более плотного в разреженное состояние.

С другой стороны, все классические представления о происхождении и эволюции космических тел и космических систем исходили из предположения о сгущении вещества, об образовании плотных тел из разреженных газовых масс. Для сторонников таких классических взглядов поток новых фактов, относящихся к активности ядер галактик, так же, как свидетельства в пользу того, что эта активность играет существенную роль для эволюции каждой галактики в целом, являлся большой неожиданностью и даже неприятностью, так как свидетельствовал о развитии в противоположном направлении. Именно поэтому на первом этапе изучения этих явлений, то есть до начала шестидесятых годов, большинство представителей этого направления пыталось отрицать или по крайней мере игнорировать факты, относящиеся к активности ядер галактик.

Но еще в 1958 году, когда мне пришлось впервые выступать на Сольвейской конференции с докладом, посвященным в основном проблемам активности ядер\*, некоторые представители классического направления в космогонии выступили с предложениями попытаться найти объяснение описанных нами явлений в терминах катастрофического сжатия большой газовой массы, окружавшей центр галактики, и последующего в результате этого взрыва.

Несмотря на всю искусственность попыток объяснить повсеместно наблюдаемые явления расширения и выбросов первоначальным катастрофическим сжатием, эта гипотеза, получившая название коллапса, несколько лет обсуждалась в науке.

Гипотеза коллапса встречается с рядом трудностей при попытке построения на ее основе даже самой грубой теории явления. Однако она должна быть отвергнута по другой причине. Дело в том, что ей противоречат факты, относящиеся к повторяемости взрывов. Несомненно, что имели место по меньшей мере три последовательных взрыва в радиогалактике Центавр А, сопровождающиеся каждый раз выбросом пары радиоизлучающих облаков. По мнению английского астронома Райля, мы имеем аналогичные свидетельства в пользу

---

\* Сольвейский доклад «Об эволюции галактик», 1958 г., см. стр. 289 настоящего сборника.

последовательных вспышек также и в других радиогалактиках. Этой гипотезе противоречат, в частности, и явления выбросов относительно плотных газовых сгустков—голубых галактик, а, в особенности, случаи, когда последовательно выбрасывалось несколько сгустков (галактика IC 1182).

Наконец, согласно рассматриваемой гипотезе, мы должны были наблюдать наряду с галактиками типа Сейферта во много раз большее число галактик, у которых вокруг центра были бы сосредоточены гигантские газовые массы, не обладающие сколько-нибудь заметным вращением. Этого вовсе не наблюдается.

Другая гипотеза исходит из представления, что ядро галактики на более раннем этапе развития представляло собой некоторую автономную звездную систему, состоявшую из сотен миллионов звезд, помещенную в центре галактики. Согласно законам динамики звездных систем, такое большое звездное скопление должно было с течением времени терять свои члены и сокращаться в своих размерах. При достижении относительно малых размеров ядра (один парсек в диаметре или меньше) должны были стать весьма частыми прямые физические столкновения между звездами при их движении. Вне ядра в окружающей галактике такие столкновения настолько редки, что ими совершенно пренебрегают. Частые столкновения между звездами должны вести к ряду необычных явлений и, в частности, к обнажению недр звезд, созданию общей газовой оболочки из ободранных поверхностных слоев отдельных звезд, звездным взрывам и т. д. По мнению ряда авторов, такая гипотеза при ее разработке может объяснить многие необычные явления, наблюдаемые в ядрах. Очевидно, что эта гипотеза является более усовершенствованным вариантом той же гипотезы коллапса. Нам кажется, что она заслуживает серьезного обсуждения, однако и она наталкивается на некоторые трудности, главным образом, в связи с необходимостью объяснения повторных взрывов и повторных направленных выбросов газовых струй.

Третья гипотеза, возникшая в Бюраканской обсерватории, одновременно с зарождением самых первоначальных представлений об активности ядер галактик, заключается в том, что выбрасываемая при взрывах материя была с самого начала в ядре и входила в состав некоего сверхмассивного гипотетического тела, составляющего сердцевину ядра. Сог-

ласно этой гипотезе ядро тем и отличается от других компактных звездных групп, например, звездных скоплений, что оно содержит в себе такое очень массивное и довольно плотное тело. Активность ядра—результат деятельности этого сверхмассивного тела. Масса этого тела может быть равна сотням миллионов или даже миллиардов масс Солнца. Поскольку предполагается, что такое тело может существовать в ядре длительное время, то повторяемость как выбросов радиоизлучающих облаков, так и выбросов газовых сгустков в виде небольших голубых галактик не представляет какой-либо трудности.

Сейчас делаются только первые попытки построения модели и теоретического изучения свойств такого сверхмассивного тела. Среди теоретических работ в этом направлении следует отметить исследования Л. М. Озерного (ФИАН им. П. Н. Лебедева).

Эта гипотеза претендует на более широкое применение, предполагая, что само существование галактики вокруг ядра есть опять-таки результат активности такого сверхмассивного тела. Не ядро образовалось в уже существовавшей галактике, а галактика возникла в результате активности ядра. Образование радиоизлучающих облаков, выброшенных из центрального ядра, является одним из примеров космогонической активности ядра.

Тот факт, что спиральные рукава спиральных галактик выходят из ядра галактики, полностью гармонирует с этой картиной. А возможность фрагментации ядра, и особенно последовательной фрагментации сверхмассивного тела, открывает перспективу объяснения кратных галактик и существования скоплений галактик. Многие характерные свойства скоплений галактик, и в первую очередь положительная энергия ряда скоплений, становятся вполне понятными на этой основе. Исторически дело происходило так, что именно на основе данных о скоплениях галактик мы начали развивать эти представления, а факты, явившиеся основой для представлений об активности ядер, ставшие известными позже, только подтверждали их. Открытие квазаров, которые могут рассматриваться как изолированные ядра в их первоначальном

состоянии\*, явилось как бы последним мазком для завершения всей картины.

Мы не хотим утверждать, что изложенная выше в грубых чертах гипотеза не имеет своих трудностей. Тем более она не является сколько-нибудь последовательной теорией. Наоборот, мы допускаем, что ее можно будет превратить в правильную теорию, внеся в нее некоторые новые идеи и улучшения. Но она позволила объединить огромное множество фактов, предвидеть многие новые факты, а главное указала на предвзятость существовавших представлений о конденсации галактик из межгалактического диффузного вещества.

Если мы примем эти представления, то мы должны сделать вывод, что ядро галактики, теряя за время своей жизни огромные массы вещества, претерпевая взрывы и даже иногда фрагментацию, должно с течением времени сильно меняться. Нет ничего неестественного в предположении, что на некотором этапе первоначальное ядро совершенно исчезает. И действительно, некоторые галактики вовсе лишены ядер. Правда, в одних случаях можно думать, что ядро невидимо вследствие отдаленности галактики. Но в других случаях, например, у спутника нашей Галактики—Магеллановых Облаков, то есть у очень близких к нам галактик, отсутствие ядер можно считать установленным фактом.

В процессе современного развития астрономии, применения все более мощных оптических и радиотелескопов Вселенная совершенно изменилась в наших представлениях. Еще тридцать лет назад она казалась нам спокойным и даже торжественным миром почти неизменных, неподвижных звезд. Теперь мы наблюдаем бурную деятельность тех же звезд, переживающих грандиозные вспышки, быстро эволюционирующих и часто весьма активно взаимодействующих друг с другом. Открытие радиотуманностей и радиогалактик привело нас к представлениям о быстрых изменениях в еще более крупных масштабах. Сегодня мы обсуждаем величественные

---

\* Большое сходство физических особенностей активных ядер галактик и квазаров, установленное наблюдениями, свидетельствует в пользу представления об их одинаковой природе. Как веское подтверждение этой точки зрения можно рассматривать результаты недавней работы американского астронома Кристиана, обнаружившего звездное население галактик вокруг некоторых сравнительно близких квазаров.

---

процессы, происходящие в ядрах галактик и квазарах. В новых представлениях астрономов Вселенная—это быстро и глубоко изменяющийся окружающий нас мир, наполненный богатейшим разнообразием *жизненных процессов* космических тел. Я сознательно употребил слова «жизненные процессы», чтобы подчеркнуть сложность, своеобразие и вместе с тем автономность многих процессов развития, которые мы изучаем. Новые телескопы, которые создаются сегодня, позволят нам проникнуть еще глубже, в самую сущность этих процессов.

## НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В МИРЕ ЗВЕЗД И ГАЛАКТИК\*

Вполне естественно, что Академия наук Советского Союза назвала свою высшую награду именем Михаила Васильевича Ломоносова. Однако тем самым она предопределила, что всякий, кто удостоивается этой награды, оказывается в трудном положении. Вся деятельность Ломоносова—такой пример беззаветного служения науке и вместе с тем беспредельной преданности своей Родине, что каждый из награждаемых поневоле терзается сомнениями, насколько он достоин в глазах своих товарищей и в собственных глазах такой высокой награды. Вы поймете мои чувства, если учтете, что, подобно многим своим товарищам, я постоянно испытывал и испытываю благоговение перед этим дорогим и священным именем.

Мое смущение усиливается еще и тем, что эта награда в последний раз, т. е. в прошлом году, была вручена ученому, чья деятельность мне представлялась всегда недостижимым

---

\* Ломоносовская лекция, прочитанная при официальной церемонии вручения В. А. Амбарцумяну высшей награды АН СССР Золотой медали им. М. В. Ломоносова, 2 марта 1972 г. (Вестник Академии наук СССР, № 5, 1973). Печатается по тексту, опубликованному в журнале «Природа», 1972, № 7, стр. 2—10.

Лекция представляет собой своеобразный отчет, подводящий основные итоги научной деятельности автора. Значительная часть результатов, упомянутых в лекции, относящаяся к эволюции звезд и звездных систем, к различным проявлениям космической нестационарности, подробнее рассмотрены в работах, включенных в настоящий сборник. Об остальных результатах см. В. А. Амбарцумян, Научные труды в двух томах, Изд-во АН Арм. ССР, 1960, а также книгу «Звезды, туманности, галактики» (Труды симпозиума, посвященного 60-летию академика В. А. Амбарцумяна), Изд-во АН Арм. ССР, Ереван, 1969.

образцом научного творчества,—академику Ивану Матвеевичу Виноградову. Еще в 20-х годах, в Ленинградском университете, Иван Матвеевич внушал нам, что в науке важно не модное, а трудное и полезное. И именно потому, что Иван Матвеевич сам строго придерживался этого правила, его имя стало знаком качества в любимой им науке.

Что касается меня, то его пример имел в моей работе и жизни столь же большое значение, как и советы моего наставника и руководителя Аристарха Аполлоновича Белопольского по конкретным методам астрофизических исследований. При получении столь почетной награды в моих мыслях вновь возникает образ этого большого труженика науки, одного из основателей астрофизики, выдающегося русского ученого Аристарха Белопольского.

В результате работы под руководством А. А. Белопольского в 1928—1932 гг. для меня стали яснее специфические особенности астрофизических исследований, что оказало большое влияние на мою дальнейшую работу.

Переходя к самой теме моего доклада, хочу отметить, что и здесь я оказываюсь в трудном положении. Дело в том, что самым серьезным моим достижением и одним из лучших достижений коллектива Бюраканской обсерватории я считаю *обнаружение активности ядер галактик*. Однако этому вопросу уже был посвящен мой доклад на Общем собрании Академии наук, сделанный около двух лет назад\*. В отличие от ситуации, имевшей место 15 лет назад, когда вне Бюракана никто не верил в существование такой активности, сегодня о ней говорят почти на каждом углу. А раз это стало модой, то у меня есть еще одно основание сказать о ней лишь вскользь.

В 1927—1928 гг., когда я и мои сверстники кончали университет, все большее развитие получала интерпретация звездных спектров на основе глубоко разработанной к тому времени систематики атомных спектров и представлений о переносе излучений как основной форме энергообмена в звезде и в ее атмосфере. Теория переноса излучения, носившая также название теории лучевого равновесия звездных атмосфер, стала получать широкое применение.

---

\* См. статью «О ядрах галактик» (стр. 387 настоящего сборника).

Молодежь увлекалась новой идеей: как атомные спектры являются, образно говоря, языком, на котором атомы рассказывают нам о своем строении, так и спектры звезд при надлежащей их теоретической интерпретации, главным образом, на основе теории лучистого переноса, рассказывают об устройстве звездных атмосфер. Именно поэтому уже тогда меня сильно привлекали задачи теории лучистого переноса, и я стал довольно прилежно заниматься ими.

Если уже я не удержался и сказал здесь фразу о том, что спектры атомов—это язык, на котором они нам рассказывают о своем строении, не могу не упомянуть, что именно в то время я задал себе вопрос: а насколько однозначно спектр собственных значений какой-либо системы определяет ее устройство? Так возникла впервые задача, обратная задаче Штурма-Лиувилля. На очень короткий срок я отошел от своих астрофизических занятий и вскоре после окончания университета напечатал в журнале «*Zeitshrift für Physik*» маленькую статью, в которой поставил эту обратную задачу и нашел ее решение для весьма частного случая. Если астроном выполнит математическую работу и напечатает ее в физическом журнале, то ясно, что на нее никто не обратит внимания. Только через 15 лет после ее опубликования шведский математик Г. Борг раскопал эту работу, обратил на нее внимание, в результате чего он и группа советских математиков уже в послевоенный период выполнила ряд интересных и более общих исследований по «обратной задаче» теории собственных значений дифференциальных уравнений.

Эпизод с этой работой не отвлек меня от занятий по теории переноса излучения. Я все больше занимался как вопросами применения этой теории к звездным спектрам, так и попытками найти математические методы решения задач теории переноса.

К сожалению, теория переноса—в большей своей части задача математической физики, одинаково применяемая и в астрофизике, и в геофизике, и в оптике моря, и в расчетах по многократному рассеянию нейтронов,—иногда увлекала меня сильнее, чем первая, чисто астрофизическая. В разработке математических методов нам удалось добиться наиболее значительных результатов лишь в 1939—1942 гг., т. е. перед войной и в период самой войны.

Первый из этих результатов заключался в том, что было



найдено решение уравнения переноса излучения для глубоких слоев рассеивающей и поглощающей плоско-параллельной среды при любой форме индикатрисы рассеяния и тем самым решена, в частности, чисто геофизическая задача изменения освещенности в морских глубинах, куда достигает лишь многократно рассеянный свет.

Второй, более значительный результат заключался в нахождении приема, с помощью которого уравнения переноса излучения (тогда рассматривались лишь линейные задачи переноса) сводятся к некоторым простым функциональным уравнениям, легко решаемым. Этот прием заключался в применении так называемого *принципа инвариантности* (иногда этот наш метод в литературе называют также методом или принципом инвариантного вложения).

На одном примере поясним суть этого метода. Представим себе однородную рассеивающую и поглощающую среду, которая заполняет полупространство, ограниченное некоторой плоскостью. На эту граничную плоскость падает параллельный пучок лучей. Он входит в среду и там претерпевает многократные рассеяния и поглощения. Спрашивается: какой поток рассеянного излучения выйдет из среды наружу в каком-нибудь заданном направлении? Для решения этой задачи раньше поступали следующим образом. Анализировали процессы поглощения и испускания света в каждой точке, расположенной внутри рассеивающей среды. Устанавливали, какое количество света должна рассеивать единица объема на различных глубинах, и затем вычисляли поток выходящего в заданном направлении излучения. Поскольку на каждый элемент объема падают какие-то доли света, рассеянного всеми другими объемами, задача оказывалась весьма сложной и сводилась к трудным для практического решения интегральным уравнениям.

Метод, предложенный нами, заключался в том, что к границе среды прикладывался дополнительный слой, обладающий теми же свойствами. Полупространство после прибавления слоя малой толщины остается полупространством и имеет те же интегральные свойства. Поэтому выходящее из него излучение от прибавления дополнительного слоя не должно измениться. Однако наш тонкий слой обладает сам свойствами поглощать и рассеивать. Поглощая, он что-то убавляет из падающего на него со всех сторон света, а рас-

сеивая,—добавляет. Отсюда следует, что сумма всех изменений, внесенных добавленным тонким слоем, должна быть равна нулю. А так как все эти изменения выражаются только через интенсивности падающего и выходящего излучения, то получается некоторое простое функциональное уравнение, связывающее эти интенсивности. Из этого уравнения находится решение задачи. Таким образом, уже не надо «влезать» внутрь среды и анализировать происходящие там явления.

Поскольку при построении модели этим методом существенно, что конечный результат не изменяется от прибавления дополнительного слоя, основная его идея была названа нами несколько громкими словами—«принцип инвариантности».

Элегантность и простота этого метода заставили меня заняться его применением сначала к другим задачам теории переноса излучения, обобщить его, а затем—к задачам совершенно иного типа. Например, этим методом удалось легко справиться с трудной проблемой флуктуаций интенсивностей в звездной системе, содержащей случайно распределенные поглощающие облака.

Этот метод решения задач теории переноса излучения получил дальнейшее развитие в трудах В. В. Соболева и его учеников, в работах С. Чандрасекара и его школы, в работах Р. Белмана и его группы и в последние годы—в исследованиях группы бюраканских работников. Было показано также, что принцип инвариантности позволяет найти простые пути решения большого класса других задач математической физики и оказывается довольно сильным орудием для применения и в некоторых других областях математики. Как это ни удивительно, но недавно, было показано, что этот метод, казалось бы целиком основанный на линейности соответствующих задач, может быть обобщен и для решения некоторых нелинейных задач.

Выше была названа одна область, увлекшая молодых астрофизиков в конце 20-х годов,—теория звездных атмосфер и ее аппарат—теория переноса излучения. Но в тот же период стали известны важные результаты по физике газовых туманностей (в частности, планетарных туманностей), полученные Э. Хабблом и И. Боуэном. И. Боуэну удалось отождествить таинственные эмиссионные спектральные линии, наблюдавшиеся в спектрах планетарных и вообще газовых туманностей, условно приписывавшиеся гипотетическому эле-

менту небулию. Оказалось, что это просто запрещенные линии ионов кислорода и азота, соответствующие переходам из метастабильных состояний в стабильные. Оказалось, также, что в газовых туманностях создаются благоприятные условия для накопления атомов в метастабильных состояниях, в результате чего соответствующие спектральные линии достигают большой интенсивности.

При построении теории этого явления на основе расчета возбуждения и ионизации в газовых туманностях С. Росселандом была допущена ошибка при оценке заселенности метастабильных уровней атомов и ионов в туманностях. Она заключалась в том, что полученные им оценки были верны лишь для таких условий, когда запрещенные линии не должны наблюдаться. Между тем нужно было как раз объяснить, почему эти линии наблюдаются и имеют измеренные интенсивности. Это дало мне повод построить в 1932 г. улучшенную теорию возбуждения запрещенных линий в газовых туманностях, а затем вообще заняться газовыми туманностями. Изучение работ голландского астрофизика Х. Занстра показало нам, что в этой области возникают существенно новые задачи теории переноса излучения. Стало ясно, что здесь мы имеем дело с задачей переноса полихроматического излучения, т. е. одновременного взаимодействия материи с полями излучения в разных частотах.

Нам удалось найти адекватную этой задаче и разрешимую схему, показав, что дело сводится к расчету двух полей излучения  $L_\alpha$  и  $L_c$  (т. е. линий лайман-альфа и лаймановского континуума) и что каждое из этих полей можно последовательно определить из условий и уравнений задачи.

Вместе с этим удалось показать, что хотя в стационарной туманности световое давление должно было бы играть огромную роль, учет его приводит лишь к выводу, что планетарные туманности наблюдаемой формы вообще не могут находиться в стационарном состоянии. Отсюда был сделан вывод о нестационарности этих объектов. А в нестационарных туманностях световое давление уже невелико. Теперь получены многочисленные свидетельства в пользу того, что планетарные туманности находятся в *состоянии постоянного расширения* и, удаляясь от своей центральной звезды, рассеиваются в окружающем пространстве. Стало ясно, что планетарные туманности порождаются отдельными звездами.

Продолжительность жизни планетарной туманности была оценена примерно в  $10^4$ — $10^5$  лет. Очевидно, она возникает из вещества, выброшенного из звезды. Еще задолго до этого наблюдениями было установлено, что во время вспышек Новых звезд они выбрасывают из себя газовые расширяющиеся оболочки, которые видны вокруг этих звезд в течение десятков лет как маленькие туманности, а затем рассеиваются в окружающем пространстве. Доказательство нестационарности планетарных туманностей явилось новым шагом в констатации быстро протекающих явлений и нестационарных объектов в нашей Галактике.

Следующим серьезным шагом было доказательство того, что открытые звездные скопления, представляющие собой важные составные образования в нашей Галактике, не могут жить больше  $10^9$ — $10^{10}$  лет. Еще до наших работ, посвященных этой проблеме, высказывалась мысль, что внешние возмущения должны разрушать эти образования и сокращать время их жизни. Однако нами было показано, что основным процессом, ограничивающим продолжительность жизни этих систем, является, так сказать, процесс «самоиспарения». Члены скопления, передвигаясь в звездном скоплении, иногда сближаются друг с другом и обмениваются при этом энергиями. В результате таких обменов отдельные звезды приобретают столь большие кинетические энергии, что покидают безвозвратно скопление. С течением времени все скопление должно так испариться.

В связи с этим стало ясно, что скопления не возникают из независимых друг от друга звезд общего звездного поля Галактики, а, наоборот, разрушаясь, как бы становятся источником, питающим это общее звездное поле Галактики. Стало ясно, что звезды каждого скопления возникли совместно, *имеют общее происхождение*.

Здесь следует отметить, в какой обстановке были сделаны эти выводы. В тот период, благодаря работам А. Эддингтона и Дж. Джинса, считалась установленной так называемая «долгая шкала» эволюции звезд в нашей Галактике, согласно которой возраст последних оценивался примерно в  $10^{13}$  лет. Предполагалось, что за такой длительный срок звезды вследствие излучения постепенно теряют свою массу и что именно в этой потере массы звездами и заключается сущность их

эволюции. Между тем уже тогда было известно явление расширения системы галактик (расширяющаяся Вселенная), показывающее, что возраст всей системы галактик не превосходит нескольких миллиардов лет, во всяком случае не более  $10^{10}$  лет. Эта величина тогда называлась «короткой шкалой» эволюции Вселенной.

Некоторое время обе шкалы странным образом уживались между собой. Парадоксальность ситуации заключалась в том, что системе более высокого порядка (Вселенной) приписывался более короткий возраст, чем входящим в нее системам и телам низшего порядка (галактикам, звездам). Трудно сказать, чего ожидало тогда большинство астрономов: какого-нибудь компромисса или какого-нибудь неожиданного объяснения противоречия. Но некоторым это положение казалось невыносимым.

Наши исследования показали, таким образом, что открытым звездным скоплениям соответствует короткая шкала жизни. Это еще ничего не решало в отношении звезд общего звездного поля и Галактики вообще. Но если бы для них была справедлива длинная шкала времени, то все звезды наблюдаемых скоплений, например, Плеяд, должны были бы считаться буквально только что возникшими. Тогда удивительно, почему слабые звезды в Плеядах—такие молодые объекты!—столь похожи на равных им по светимости карликов общего звездного поля.

Появилось первое серьезное сомнение в справедливости долгой шкалы звездной эволюции.

Чтобы окончательно прояснить вопрос о долгой шкале, мы решили изучить распределение элементов орбит двойных звезд. С самого начала этого исследования стало ясно, что наблюдаемое распределение больших полуосей орбит широких звездных пар полностью *противоречит* долгой шкале звездной эволюции. Я еще не успел опубликовать свои результаты, как в «Nature» появилась статья Дж. Джинса, который тоже приступил к изучению этого вопроса и пришел к выводу, что распределение эксцентриситетов известных орбит двойных звезд хорошо *подтверждает* долгую шкалу. Легко было найти в чем ошибка Дж. Джинса, и начавшаяся между нами полемика быстро закончилась.

Таким образом, на основе изучения нестационарных процессов, в данном случае—темпов установления равновесного

распределения элементов орбит двойных звезд, была доказана справедливость короткой шкалы звездной эволюции и парадокс, о котором говорилось выше, был устранен.

Из работы по статистике широких звездных пар с неизбежностью вытекал и другой вывод: в Галактике благодаря случайным встречам двойных звезд с одиночными в настоящих условиях происходит процесс разрушения широких пар. А теоретически мыслимые при тройных сближениях противоположные процессы возникновения таких пар практически не происходят. Таким образом, не оставалось сомнения, что компоненты каждой пары возникли совместно.

Примерно в те же годы ряд других авторов на основании изучения звезд типа Р Лебедя и типа Вольфа-Райе пришли к выводу об их нестационарном состоянии. Из этих звезд происходит непрерывное истечение вещества, ведущее к существенному уменьшению их массы. Здесь особо следует отметить важную роль, которую сыграли выполненные в тот период (30-е годы) работы советских астрофизиков: Н. Н. Козырева—о протяженных фотосферах у таких звезд и Б. А. Воронцова-Вельяминова—о природе горячих звезд.

Становилось очевидным, что на смену классическому методу умозрительных гипотез, касающихся эволюции небесных тел, приходят полученные на основе хорошо установленных фактов и связывающих их между собой довольно строгих теоретических рассуждений картины отдельных этапов развития звезд. Эти картины относились к разным объектам, к разным этапам их эволюции и не давали полного представления об эволюции звездного мира. Однако они свидетельствовали, что современная астрофизика все более становится эволюционной наукой.

Несколько меньше внимания обращалось в то время на другое обстоятельство. Везде, где удавалось на основе наблюдательных данных установить существование эволюционных изменений, процесс, как выяснилось, шел в одном направлении—от более концентрированных тел и систем к более разреженным. Везде мы встречали процессы рассеяния.

Между тем, все созданные до того и даже продолжавшие появляться умозрительные схемы и гипотезы о звездной эволюции неизменно говорили о возникновении и эволюции этих объектов в процессе конденсации. Собственно, все такие гипотезы и модели в большей или меньшей мере примыкали

к классическим космогоническим гипотезам прошлого. Авторы упомянутых умозрительных схем и гипотез в большинстве не решались сделать из новых открытий достаточно радикальных выводов о направлении эволюции космических систем. Вместо этого они стали искать новые варианты теорий конденсации, в которых может появиться расширение и рассеяние, но уже как вторичное явление, следующее за конденсацией.

С 1947 г. началось исследование звездных систем нового типа—звездных ассоциаций. Эти звездные группировки выделяются тем, что они содержат горячие звезды-гиганты типов О и В или неправильные переменные звезды-карлики, называемые звездами типа Т Тельца. Иногда ассоциации содержат и те, и другие объекты в значительном количестве. Мы назвали эти системы соответственно О-ассоциациями, Т-ассоциациями и О+Т-ассоциациями. Поскольку О-ассоциации содержат в себе, как правило, звезды типа В (а не только типа О), в употребление вошло и обозначение их как ОВ-ассоциаций.

Изучение этого нового класса звездных группировок, особенно О-ассоциаций, показало, что они должны быть гораздо менее устойчивыми, чем скопления, а подчас—просто распадающимися системами. Действительно, голландскому астрофизику А. Блаау удалось обнаружить расширяющуюся ассоциацию в созвездии Персея. Другая группа быстро расходящихся звезд была обнаружена в районе созвездия Ориона. Такие группы получили название систем с положительной энергией. Все происходит так, как если бы звезды данной ассоциации образовались внутри одного или нескольких малых объемов пространства, а после этого стали удаляться от центров этих объемов со значительными скоростями—порядка нескольких (иногда свыше десяти) километров в секунду. В одних случаях этих скоростей бывает достаточно, чтобы в итоге соответствующая группировка быстро рассеялась в пространстве; в других случаях образуется очень широкая неустойчивая группировка слабо связанных силами притяжения звезд; в третьих—возникают обычные открытые звездные скопления, о судьбе которых мы уже говорили. В первых двух случаях продолжительность жизни группировки измеряется сроками  $\sim 10$  миллионов лет или даже меньше.

Таким образом, общее звездное поле непрерывно питается за счет звезд, сформировавшихся в ассоциациях.

Мы не будем останавливаться здесь на тонкостях, связанных с тем, что в одной ассоциации часто бывает несколько центров звездообразования, вследствие чего внутренние движения звезд в ассоциациях не всегда можно истолковать как простую экспансию из одной точки. Важно, что в результате их изучения удалось сформулировать две истины: *процесс звездообразования в Галактике продолжается и в нашу эпоху; звезды, как правило, возникают не поодиночке, а группами.*

С другой стороны, изучение ассоциаций только укрепило убеждение, что эволюционные процессы, относящиеся к звездам и их агрегатам, связаны с расширением и рассеянием, что формирование звезд происходит в каких-то малых объемах. Поэтому, если не связывать себя ни на чем не основанными гипотезами и существовавшими ранее в науке предвзятыми представлениями о сгущении рассеянного вещества в звезды, а пытаться просто экстраполировать наблюдательные данные, то приходится выдвинуть диаметрально противоположную гипотезу, что звезды возникают из плотного (скорее сверхплотного) вещества путем разделения (фрагментации) массивных дозвездных тел на куски, из которых образуются отдельные звезды. Поскольку в ассоциациях имеются, наряду со звездами, диффузные газовые и пылевые туманности, пришлось также допустить, что при фрагментации дозвездных тел могут выделяться и потом рассеиваться значительные массы диффузного вещества.

Если это так, если звезды и диффузные туманности возникают совместно, то именно там, где наблюдаются более тесные комбинации звезд и газовых облаков, мы должны искать наиболее молодые объекты звездного мира.

В тот период в результате анализа совокупности данных о кратных звездах нами был выделен класс неустойчивых кратных систем, получивших название *систем типа Трапеции*. Оказалось, что такие системы встречаются в ассоциациях особенно часто в тесной связи с диффузной материей. По всей видимости, возраст систем типа Трапеции измеряется сроком порядка одного миллиона лет и даже меньше. Само существование систем типа Трапеции—как весьма ранней фазы развития звездных групп—явилось новым указанием,



что непосредственно после своего возникновения звезды составляют очень тесные группы, а это, в свою очередь, свидетельствует о направлении эволюции от плотного к рассеянному.

Параллельно с развитием этих идей в 50-х годах шло изучение Т-ассоциаций и их отдельных членов—звезд типа Т Тельца. Оказалось, что у звезд типа Т Тельца наблюдается целый ряд явлений, которые свидетельствуют о необычайно бурных процессах, происходящих в их внешних слоях. К их числу относится появление временами непрерывной эмиссии, вуалирующей линии поглощения, что особенно подробно было изучено американским астрономом А. Джоем.

Вскоре к звездам типа Т Тельца были присоединены две новооткрытые категории объектов: так называемые вспыхивающие звезды, в частности, звезды типа UV Кита и объекты Хербига—Аро. Все эти классы вместе составили обширную категорию нестационарных молодых звезд.

На основе опромной наблюдательной работы, направленной на исследование этих нестационарных звезд, мексиканский астроном Г. Аро показал, что при переходе от молодых звездных группировок типа ассоциаций к более поздним—типа классических звездных скоплений—звезды типа Т Тельца превращаются в чистые вспыхивающие звезды, т. е. такие, которые большую часть времени находятся в состоянии их нормального постоянного блеска, но время от времени переживают вспышки, при которых яркость звезды буквально за десятки секунд возрастает в несколько раз, а иногда и в сотни раз. В дальнейшем вспышки ослабевают и звезда превращается в обыкновенного карлика.

Если фаза изменений звезд типа Т Тельца длится в течение миллиона лет, то фазы вспышечной активности гораздо более продолжительны и у звезд с малой массой могут продолжаться до 100 миллионов лет.

Недавно нам удалось найти способ оценки общего числа вспыхивающих звезд в каждом данном скоплении. Первые же оценки привели нас к выводу, что все звезды-карлики, входящие в скопления, проходят через длительную стадию вспышечной активности. Иными словами, стадия высокой вспышечной активности—это фаза эволюции карликовых звезд, непосредственно следующая за фазой Т Тельца.

Еще недавно было принято считать вспыхивающие звезды относительно редкими объектами. Ныне, в результате работ, выполненных в Бюракане за самые последние годы, мы знаем, что число вспыхивающих звезд в одном лишь скоплении Плеяд не меньше 700 и, возможно, даже достигает одной тысячи. Иными словами, большинство членов Плеяд и сейчас наблюдаются как проходящие вспышечную фазу.

Выдвинутая нами гипотеза, что молодые звезды сохраняют в себе какое-то количество дозвездного вещества, которое время от времени дискретными порциями выносятся во внешние слои звезды и даже в окружающее звездное пространство, остается спорной. Но она оказалась в высшей степени плодотворной, позволив предсказать ряд интересных явлений, в том числе разделение вспышек на два класса: «быстрые» и «медленные» с различными физическими особенностями.

Как известно, во время вспышек процесс увеличения блеска звезды происходит чрезвычайно быстро. Он занимает в подавляющем большинстве не более нескольких минут. Наблюдалось много случаев, когда возгорание звезды происходит буквально за десятки секунд. В отличие от этого, падение блеска после достижения максимума происходит гораздо медленнее, занимает десятки минут, а иногда и более часа. Однако сказанное справедливо не для всех вспышек. Хотя и очень редко, наблюдаются вспышки, в которых процесс возгорания продолжается десятки минут или даже один-два часа. Подобные вспышки получили название медленных. Быстрые вспышки наблюдаются в тех случаях, когда освобождение энергии дозвездного вещества происходит в атмосфере звезды или высоко над ее поверхностью. Медленные же вспышки соответствуют тому случаю, когда освобождение энергии взрыва происходит под поверхностными слоями звезды и выход энергии наружу требует значительного времени.

Первые медленные вспышки были обнаружены на обсерватории Тонанцингла (Мексика); весьма интересные случаи вспышек были зарегистрированы также за последние два года в Бюраканской астрофизической обсерватории АН Арм. ССР.

Наш переход (середина 50-х годов) от нестационарных процессов в мире звезд к нестационарным процессам внегалактической астрономии был вызван стремлением найти объекты, у которых ранняя фаза развития космического веществ-

ва может продолжаться достаточно долго и где дозвездное состояние объектов и свойства дозвездного вещества могут длительно проявляться в более явной форме. Некоторые факты говорили, что как раз во внегалактической астрономии существуют такие условия.

Как мы видели, уже в 30-е годы стало ясно, что шкала времени эволюции для звезд, галактик и даже для больших групп галактик одна и та же—порядка  $10^{10}$  лет. Но очевидно, что изменения в галактиках, в частности, процессы их становления, должны занимать гораздо более длительные сроки, чем аналогичные процессы в звездах. Поэтому среди галактик можно ожидать гораздо более высокий процент объектов, проходящих через этапы молодости. А если принять нашу позицию, ставшую к этому времени для нас исходной, что начальный этап развития космических тел и систем связан с высокими плотностями и энергиями, то следовало ожидать, что в мире галактик мы должны особенно часто встречать бурные нестационарные процессы.

В этой связи вызывало значительный интерес следующее обстоятельство. Выяснилось, что определенные уже к началу 50-х годов лучевые скорости галактик, входящих в некоторые скопления галактик, обладают гораздо большим разбросом, чем это можно было предвидеть на основании представления о стационарности скоплений. Различные гипотезы, подобные предположению о присутствии значительных масс сильно ионизованных межгалактических газов в скоплениях, оказались неспособными спасти гипотезу о стационарности скоплений (хотя бы в ряде хорошо изученных случаев). Приходится считаться с тем, что по крайней мере часть скоплений галактик находится в состоянии экспансии. Это не так уж поразительно, коль скоро мы знаем о грандиозном явлении расширения всей системы галактик, включая их скопления, называемом обычно расширением Вселенной. А так как большинство галактик входит в скопления, отсюда следовало, что *нестационарность в мире галактик встречается гораздо чаще, чем в мире звезд.*

Наконец, в 1952 г. произошло отождествление некоторых наблюдаемых космических радиоисточников с определенными галактиками. Появился термин—*радиогалактики*. Астрономы, выполнившие в 1952 г. первые такие отождествления, В. Бааде и Р. Минковский, тогда же указали, что радиоба-

лактики по своему строению и виду (в оптических лучах) довольно резко отличаются от обычных галактик, и выдвинули гипотезу, согласно которой каждая радиогалактика—это результат столкновения двух галактик. В течение почти десяти лет после этого гипотеза Бааде и Минковского излагалась в учебниках и популярных статьях как единственно правдоподобная. Предполагалось, что в результате столкновения двух галактик возникают огромные облака релятивистских электронов, которые и ответственны за радиоизлучение.

Однако сразу же после появления этой гипотезы нами было указано, что она находится в резком противоречии с некоторыми твердо установленными данными, и изучение вопроса в 1953—1954 гг. привело нас к выводу, что радиогалактики появляются вследствие сильных критических явлений, возникающих в результате внутреннего развития галактики. В 1955 г. нам стало ясно, что мы здесь сталкиваемся со следствиями взрывных процессов гигантской силы, происходящих в *ядрах галактик*.

Несколько лет после этого мы с нашими сотрудниками работали над изучением оптических изображений галактик, главным образом по картам знаменитого Паломарского атласа и частично по снимкам, полученным на скромном 21-дюймовом телескопе Шмидта Бюраканской обсерватории. Именно результатом этих довольно трудоемких работ было обнаружение таких явлений, как голубые выбросы из ядер галактик, и других фактов, которые привели к рождению идеи о разнообразной активности ядер галактик. Первые более полные формирования этой идеи были нами даны в докладе на Сольвейском конгрессе 1958 г.\* Интересно, что участники конгресса либо отнеслись отрицательно к этой идее, либо приняли ее холодно, как одну из мыслимых возможностей. Между тем идея активности ядер к этому времени уже была неизбежна для всех, кто серьезно изучил соответствующие наблюдательные данные. Непризнание большинством астрофизиков в тот период идеи активности ядер выражалось в том, что повсюду продолжали появляться большие статьи, хорошо иллюстрированные прекрасными фотоснимками, в которых все повторялась версия о возник-

---

\* См. статью «Об эволюции галактик» (стр. 289 настоящего сборника).

новении радиогалактик вследствие столкновений. Даже значительно позже, когда в 1961 г. в своем «Invited Discourse», прочитанном на пленарном заседании съезда Международного астрономического союза в Беркли\*, мною была представлена в более подробно разработанном и более радикальном виде идея активности ядер галактик, многие астрономы еще не соглашались с ней. Только спустя два года, уже после открытия квазаров, которые по существу оказались теми же ядрами, только более высокой светимости и весьма мощной активности, а также после обнаружения А. Сандейджем и К. Линдсом большого взрыва в ядре галактики М 82, происшедшего полтора миллиона лет назад, все стало на свое место.

Поскольку я уже имел честь докладывать Общему собранию Академии наук о том, что мы знаем о сущности и внешних формах проявления этой активности, я не буду приводить эти данные. Теперь, конечно, все признают огромную роль активности ядер в развитии галактик.

Но я хочу совершенно отчетливо заявить, что последние годы приносят все новые свидетельства в пользу самой крайней формы идеи об активности ядер, которая может быть выражена так: *каждая галактика образуется в результате активности своего ядра и выделившихся из него вторичных центров активности*. Только дальнейшая эволюция галактики протекает затем главным образом по законам взаимодействия и саморазвития звезд и туманностей при относительно слабом внешнем воздействии самого ядра. При этом разным подсистемам, возникающим в галактике, иногда соответствуют в качестве основных причин разные формы активности ядра. В одних случаях это взрывы, при которых выбрасываются значительные по массе плотные сгустки, в других—это истечение потоков классического газа, в третьих—выбрасывание облаков релятивистского газа, в четвертых—это длительное и, может быть, относительно более спокойное истечение спиральных рукавов.

Возникает вопрос: каков механизм этих различных форм активности? Ответить на этот вопрос—значит полностью понять проблемы происхождения галактик. Следует признать,

---

\* См. статью «О природе и эволюции галактик» (стр. 327 настоящего сборника).

что мы пока очень далеки от возможности дать такой ответ. И это естественно. Уже тысячелетия мы собираем данные о звездах и еще не смогли разгадать механизма их происхождения. Более того, испокон веков мы живем на Земле, но еще не смогли понять механизма возникновения Земли.

Но вот находятся смелые люди, которые читают доклады не только о происхождении галактик, но и о механизме происхождения ядер галактик-квазаров. Мы не отрицаем огромной важности этих вопросов. Однако для их разрешения надо сначала накопить необходимые фактические данные, понять природу ядер галактик-квазаров и на этой основе решать отдельные вопросы, связанные с их происхождением. Мы не можем пока ответить на такие вопросы. Но все же очень трудным оказывается и вопрос о том, что представляют собой ядра галактик. Пока можно лишь сказать, что это сверхмассивные объекты. Можно лишь утверждать, что это совсем не то, что думали еще четверть века назад почти все астрономы, т. е. это не просто большие очень плотные звездные группы, подобные шаровым звездным скоплениям. Последние наблюдения над ядром галактики М 33, проведенные с баллона группой М. Шварцшильда, указывают, что диаметр ядра может быть значительно меньше, чем полпарсека, а средняя плотность вещества по крайней мере в миллионы раз больше, чем в шаровых скоплениях. В этом вопросе необходимо большое терпение. Может быть, в XXI столетии нам удастся лучше понять подлинную природу ядер и квазаров. Что касается проблемы происхождения таких объектов, то это кажется делом еще более отдаленного будущего.

Как было мной обещано, я не буду останавливаться подробно на сущности вопроса об активности ядер и многообразии проблем, с которыми здесь астрофизика сталкивается. Остановлюсь лишь на двух вопросах, в которых достигнуты новые успехи.

В своем последнем докладе я рассказывал об открытии в Бюраканской обсерватории большого числа галактик с аномально яркой ультрафиолетовой частью спектра. По имени их открывателя, действительного члена АН Арм. ССР Б. Е. Маркаряна, они получили название галактик Маркаряна. Оказалось, что ультрафиолетовым избытком обладают два типа галактик: с одной стороны, это галактики с особо активными ядрами, во многом схожими с квазизвездными

объектами, а с другой стороны, это галактики, содержащие очень высокий процент горячих звезд. Оба упомянутых типа галактик примерно в равных количествах входят в списки Маркаряна и представляют в равной мере огромный интерес для проблем эволюции галактик.

За истекшие после моего доклада два года число обнаруженных таким образом галактик этих типов превзошло пятьсот, и среди этих интересных объектов все время обнаруживаются отдельные галактики, представляющие исключительный интерес. Благодаря работам Э. Е. Хачикяна и Д. Видмана, У. Сарджента, Х. Арпа, М. А. Аракеляна, Э. А. Дибая, В. Ф. Есипова и самого Б. Е. Маркаряна достигнуты большие успехи в более подробном исследовании спектров галактик Маркаряна с относительно большой дисперсией.

Я здесь упомяну лишь о замеченных Э. Е. Хачикяном и Д. Видманом в водородных эмиссионных линиях галактики Маркарян 6 существенных изменениях (появление нового компонента, смещенного по отношению к старому), которые свидетельствуют о быстром (в течение двух лет) образовании расширяющегося газового облака, выброшенного из ядра или, может быть, какого-нибудь вторичного центра и имеющего массу одного лишь водорода порядка двух-трех солнечных масс. Это явление истолковывается как выброс из ядра газовой массы *буквально на наших глазах*. Будем с нетерпением ждать следующих подобных выбросов из активных ядер галактик, так как их изучение, несомненно, прольет свет на механизм выброса.

Открытие большого числа галактик Маркаряна—это крупное достижение нашей науки. Сейчас все больше астрономов, у нас и за рубежом, с помощью самых крупных телескопов мира стремятся более подробно исследовать природу этих объектов.

Укажем также, что Б. Е. Маркарян включил в свои списки несколько новооткрытых им квазаров. В частности, объект Маркарян 132 оказался чрезвычайно интересным квазизвездным объектом (оптическим квазаром). По своей абсолютной яркости в оптических лучах, согласно исследованиям, выполненным на 5-метровом телескопе Паломарской обсерватории, объект Маркарян 132 оказался ярче всех известных в настоящее время науке квазизвездных объектов, т. е. ярче всех объектов Вселенной.

Присутствующие здесь астрономы хорошо знают о широко популяризуемой в последние годы гипотезе возникновения спиральных рукавов галактик как волн плотности в самогравитирующей среде. Обсуждению этой гипотезы было посвящено даже специальное заседание в Брайтоне Международного астрономического союза на съезде в 1970 г. Такое понимание происхождения спиральных рукавов, по существу, полностью игнорирует роль ядра спиральной галактики, несмотря на общеизвестную закономерность, заключающуюся в том, что спиральные рукава геометрически исходят из ядра даже в тех случаях, когда ядро очень мало.

В отличие от этой гипотезы, наша точка зрения связывает появление спиральных рукавов с истечением вещества из ядра.

Какая из этих двух точек зрения справедлива, решат наблюдения. Для этого необходимы наблюдения на телескопах с такой разрешающей силой, которая позволит подробнее исследовать поведение спиральных рукавов в околоядерной области. При этом неожиданно большое значение приобретают радионаблюдения.

Многие из вас знают, что недавно в Голландии был введен в действие новый мощный радиотелескоп, работающий по принципу апертурного синтеза и имеющий огромную разрешающую силу. Этот новый телескоп позволяет производить детальные исследования распределения радиояркости по диску галактик.

Исследования первых же спиральных галактик с помощью нового радиотелескопа позволили установить, что синхротронное излучение, исходящее из обыкновенных спиральных галактик (не радиогалактик!), распределено по диску галактики таким образом, что выделяются спиральные рукава, которые, однако, не совпадают с оптическими рукавами. Радиорукава тоже исходят из ядра. На днях нами получены от проф. Я. Оорта письмо и препринт, в которых он сообщает, что расположение и строение спиральных радиорукавов и их сравнение с расположением оптических рукавов в галактике NGC 4258, изученной им с сотрудниками на указанном телескопе, заставляет считать правильной именно гипотезу истечения рукавов из ядра.

Наблюдения группы Я. Оорта еще подлежат дальнейшему обсуждению. Однако всем, кто за последние годы серьезно



следил за развитием внегалактической астрономии, ясно, в каком направлении пойдет решение этого вопроса.

В последовательности работ, выполненных нами и нашими сотрудниками по изучению нестационарных явлений в мире звезд, туманностей и галактик, как Вы могли убедиться, нашли свое отражение те интересные, порою драматические открытия, которые за последние десятилетия буквально преобразили астрофизику и всю астрономию. В астрономии, которая в течение тысячелетий имела дело с одними и теми же небесными телами, планетами и звездами, спутниками и кометами, сегодня появляются все новые объекты исследования, открываются новые типы явлений, которые изучаются новыми, не мыслимыми в прошлом методами.

Вы видели также, что в наших работах, наряду с исследованием отдельных конкретных процессов, делалась попытка понять *основное* направление эволюционных процессов Вселенной. Моя оценка такова, что факты свидетельствуют, и притом довольно настойчиво, в пользу развития *от плотного к рассеянному*. Должен, однако, предупредить, что такая точка зрения стала распространяться главным образом во внегалактической астрономии, да и то лишь в последнее время. Но эта точка зрения, как признают даже ее противники, оказалась продуктивной. Если нам удалось предвидеть ряд новых явлений, то именно потому, что нам, как кажется, удалось несколько раньше уловить, какова основная тенденция развития.

Могут спросить: а неужели, исходя из противоположной картины, т. е. из гипотезы о конденсации и коллапсах, не было предсказано ни одного качественно нового явления. Объективность требует отметить, что один пример важного и правильного предсказания, исходившего из представлений о тенденции к конденсации и коллапсу, существует. Это предсказание о том, что после взрыва нормальной звезды, который мы наблюдаем в виде вспышки Сверхновой, на ее месте должна оставаться сверхплотная (барионная) звезда. Открытие пульсара в Крабовидной туманности и данные о некоторых других пульсарах подтверждают правильность второй части этого предсказания, т. е. что после вспышки Сверхновой образуется сверхплотное тело. Однако подчеркиваем, что подтверждается лишь вторая часть указанного предсказания. Но является ли начальным состоянием объекта, с которым

связана вспышка, состояние нормальной звезды, центральная часть которой сжалась в сверхплотную звезду,—на это мы пока не имеем ответа. К сожалению, пока еще никто не наблюдал объект, который вспыхивает в качестве Сверхновой, *до его вспышки*. Неизвестно, что за объект вспыхивает.

Мы считаем возможной и такую картину, когда вспыхивающий объект до вспышки тоже представляет собой сверхплотное тело. Тогда вспышка—это лишь процесс перехода между двумя состояниями сверхплотного тела, связанный с выбросом значительной массы. Не исключено также, что здесь может происходить фрагментация сверхплотного тела. Должен предупредить, однако, что эта точка зрения еще почти не разработана и пока в ее пользу можно привести лишь отдельные, не связанные между собой доводы. Но, во всяком случае, остается справедливым, что пока оправдалась лишь та часть упомянутого предсказания, которая не свидетельствует еще однозначно об имевшем место коллапсе. Очевидно, что дело решат дальнейшие наблюдения.

Астрономия—наука наблюдательная. Имея дело с отдаленными объектами, она стремится к тому, чтобы выявляемые ею факты были бы установлены как можно более достоверно, а выполняемые измерения были бы как можно более точными. Тогда и обобщения, и создаваемые астрономами теории становятся более надежными.

Для меня истолкование астрономических явлений прежде всего связано с решениями обратных задач, в широком смысле этого слова. Решая обратную задачу, мы находим закономерности, которые присутствуют в изучаемых явлениях. Чем более точны результаты наблюдений и чем больше мы имеем независимых друг от друга наблюдательных данных, тем с большей однозначностью можно найти решение.

Другим исследователям кажется плодотворным метод придумывания моделей и гипотез, которые в конечном счете призваны объяснить те же наблюдаемые явления. Конечно было бы неправильно считать, что справедливо применять лишь один из этих подходов. Для раскрытия тайн природы надо использовать и тот, и другой. И опыт показывает, что результаты обоих путей сходятся. Однако специфика астрономических исследований, условия, в которые мы поставлены при изучении процессов, происходящих в отдаленной Вселен-

ной, таковы, что именно подход к проблемам истолкования наблюдений как к обратной задаче оказывается плодотворным в наиболее трудных случаях, в поворотные моменты развития астрономии.

Не следует, однако, никогда забывать, что основой дальнейшего развития астрономии всегда остается увеличение числа, направленное программирование, углубление и расширение наблюдений. Только это служит залогом новых успехов. Только этим путем, на основе упорного труда многих и многих исследователей, астрономия открывает качественно новые явления, вскрывает бесконечное многообразие проявлений свойств материи и вновь и вновь подтверждает, что природа действительно неисчерпаема.

В отличие от тех, кто полагает, будто почти все фундаментальные законы природы уже открыты и осталось в этой области лишь кое-что доделать, зашить некоторые маленькие прорехи, я думаю, что и XXI век будет веком открытия принципиально новых аспектов явлений природы, и XXXI век будет полон новыми фундаментальными открытиями.

В этот радостный для меня день я с признательностью вспоминаю своих многочисленных коллег, поддерживавших эти исследования, часто подсказывавших новые мысли, признававших новое направление с самого начала и совместно работавших со мной.

С особой благодарностью вспоминаю тех своих коллег, которые своей настойчивостью и защитой противоположных взглядов возбуждали во мне задор и вызывали стремление искать новые аргументы. Тем самым они тоже помогали становлению нового. Без противоречий нет развития.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	5
Некоторые методологические вопросы космогонии . . . . .	9

### РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

Проблемы современной астрономии и физика микромира . . . . .	38
Марксистско-ленинская методология и прогресс науки . . . . .	51
Некоторые особенности современного развития астрофизики . . . . .	56
Перспективы развития астрономии . . . . .	73
Диалектика в современной астрономии . . . . .	77
Проблемы методологии естественнонаучного поиска . . . . .	108
Материалистическая диалектика—методология и логика развития современного естествознания . . . . .	128
Современное естествознание и философия . . . . .	136
Методологические проблемы астрофизики . . . . .	166
Николай Коперник и современное естествознание . . . . .	187
Коперник и современная астрономия . . . . .	193

### РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

Эволюция звезд и астрофизика . . . . .	213
Явление непрерывной эмиссии и источники звезд энергии . . . . .	238
О проблеме происхождения звезд . . . . .	267
Об эволюции галактик . . . . .	289
О природе и эволюции галактик . . . . .	327
О ядрах галактик и их активности . . . . .	356
Нестационарные объекты во Вселенной и их значение для иссле- дования происхождения и эволюции небесных тел . . . . .	372
О ядрах галактик . . . . .	387
Нестационарные явления в мире звезд и галактик . . . . .	404

ВИКТОР АМАЗАСПОВИЧ АМБАРЦУМЯН  
ФИЛОСОФСКИЕ ВОПРОСЫ НАУКИ О ВСЕЛЕННОЙ

*Печатается по решению ученого совета  
Института философии и права АН Армянской ССР*

Худож. оформление *Л. А. Садомяна*  
Технич. редактор *М. А. Капелян*  
Корректор *М. Т. Дальвадянц*

ВФ 05833.            Изд. 3948.            Заказ 614.            Тираж 2000.  
Сдано в производство 29/VIII 1973 г., подписано к печати  
6/XI 1973 г., печ. 26,75 л., усл. печ. 24,88 л. Изд. 23,21 л.  
Бумага № 1, 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Цена 1 р. 75 к.

---

Типография Издательства АН Армянской ССР, г. Эчмиадзин

## ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

стр.	Напечатано	Должно быть
18 <del>35</del>	тохя Герцшпрунга-Ресселя	хотя Герцшпрунга-Рессела