

В. А. АМБАРЦУМЯН

ПРОБЛЕМЫ  
ЭВОЛЮЦИИ  
ВСЕЛЕННОЙ

СПИСОК СОДЕРЖАНИЯ

~~P II | Анебгусул 13~~  
~~254 | Подпись Иван~~  
~~Гусев~~

		2488

ՀԱՅԿԱՍՏԱՆԻ ԳՐԱԳՐԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆ

ՀԱՅԿԱՍՏԱՆԻ  
ԳՐԱԳՐԱԿԱՆ  
ԿԵՆՏՐՈՆ  
ԳՐԱԳՐԱԿԱՆ  
ԿԵՆՏՐՈՆ

ՀԱՅԿԱՍՏԱՆԻ ԳՐԱԳՐԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆ  
ԳՐԱԳՐԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆ



ՀԱՅԿԱՍՏԱՆԻ ԳՐԱԳՐԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆ  
ԳՐԱԳՐԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆ

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԳԵՄԻԱ

Վ. Հ. ՀԱՄԲԱՐՉՈՒՄՅԱՆ

ՏԻ Ե Ջ Ե Ր Ք Ի  
ԷՎՈԼՅՈՒՅԻԱՅԻ  
ՊՐՈԲԼԵՄՆԵՐԸ

ՄԵԶԱԶԳԱՅԻՆ ԱՍՏՂԱԳԻՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԳՈՒՄԱՐՆԵՐՈՒՄ  
ԵՎ ԳԻՏԱԺՈՂՈՎՆԵՐՈՒՄ ԿԱՐԳԱՅԱԾ ԶԵՆՈՒՑՈՒՄՆԵՐԻ ԵՎ  
ԵՆՈՒՅԹՆԵՐԻ ԺՈՂՈՎԱԾՈՒ

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԱ ՀՐԱՏԱՐԱԿ ԶՈՒԹՅՈՒՆ  
ԵՐԵՎԱՆ 1968

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

В. А. АМБАРЦУМЯН

# ПРОБЛЕМЫ ЭВОЛЮЦИИ ВСЕЛЕННОЙ

СБОРНИК ДОКЛАДОВ И ВЫСТУПЛЕНИИ  
НА МЕЖДУНАРОДНЫХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ  
СЪЕЗДАХ И КОНФЕРЕНЦИЯХ



ИЗДАТЕЛЬСТВО АН АРМЯНСКОЙ ССР  
ЕРЕВАН 1968

Р  
II  
212545

Составитель и редактор

Л. В. МИРЗОЯН

210212  
II



B. Anderson



## ПРЕДИСЛОВИЕ

В этом году исполняется шестьдесят лет со дня рождения крупнейшего астрофизика, академика Виктора Амазасповича Амбарцумяна.

Огромны его заслуги в развитии астрофизики в нашей стране и во всем мире. Его работами созданы новые направления в науке, плодотворно развиваемые в настоящее время.

В настоящий сборник, предлагаемый вниманию читателя в связи с шестидесятилетием В. А. Амбарцумяна, включены его доклады на международных астрономических съездах и симпозиумах вместе с обсуждениями по ним\*. Многие из них в свое время были в центре внимания участников этих научных собраний, а изложенные в них новые идеи оказали серьезное влияние на дальнейшее развитие современной астрофизики и космогонии.

Хотя эти доклады и сообщения носят в большинстве случаев характер обобщенных обзоров работ, выполненных В. А. Амбарцумяном и его сотрудниками, они часто затрагивают новые вопросы и идеи, не освещенные до этого в оригинальных работах.

В сборнике доклады расположены в хронологическом порядке. Первый из них — «О клочковатой структуре межзвездной поглощающей среды» был прочитан на съезде Международного астрономического союза (МАС) в Цюрихе в 1948 году. Это был первый съезд МАС, в работах которого приняли деятельное участие советские ученые. Поэтому сборник дает

---

\* Исключения составляют публичная лекция В. А. Амбарцумяна «Мириады галактик», прочитанная в г. Канберра (Австралия) в 1963 году, и речь «О перспективах развития астрономии», произнесенная им на официальной церемонии вручения ему диплома почетного доктора Карлова (Пражского) университета в Праге в 1967 г. Эти выступления печатаются впервые и представляют значительный интерес, в частности, для широкого круга читателей. (Здесь и далее, кроме особо отмеченных случаев, примечания редактора).

представление о работах В. А. Амбарцумяна и его учеников—сотрудников ордена Ленина Бюраканской астрофизической обсерватории Академии наук Армянской ССР, а также ряда других советских астрономов лишь за последние 20 лет.

Естественно, что доклады, приведенные в сборнике, не охватывают более ранние, однако не менее важные исследования В. А. Амбарцумяна, посвященные физике газовых туманностей и звездных оболочек, теории рассеяния света, теории межзвездного поглощения, вопросам звездной динамики и статистики, а также работы по теории сверхплотных конфигураций звезд. Они, вместе с некоторыми из включенных в сборник докладов, были изданы еще в 1960 г. в двухтомнике «Научные труды» В. А. Амбарцумяна.

По докладом, включенным в сборник, можно проследить обоснование и развитие плодотворных идей, выдвинутых В. А. Амбарцумяном, о возникновении звезд в современную эпоху в открытых им в 1947 году звездных системах нового типа—звездных ассоциациях и о космогонической активности ядер галактик. Обе эти идеи и исследования по их разработке являются, по мнению крупнейшего голландского ученого Яна Оорта, «наиболее важным вкладом советских ученых в астрономию» за последние 50 лет.

Особенно полно представлены в сборнике выполненные в Бюраканской астрофизической обсерватории исследования по изучению активности ядер галактик, вызывающей грандиозные нестационарные явления и играющей решающую роль в развитии галактик. Включенные в сборник доклады, относящиеся к этой проблеме, являются почти единственными опубликованными материалами, обобщающими известные до сих пор исследования по этой проблеме, ставшей в настоящее время центральной проблемой внегалактической астрономии. Значительная часть включенного в сборник материала печатается на русском языке впервые.

Можно надеяться, что сборник будет с интересом встречен не только специалистами-астрофизиками и представителями сопредельных с астрофизикой областей науки, но и всеми, кто интересуется вопросами происхождения и эволюции звезд и галактик, физической природой космических состояний материи и протекающих во Вселенной процессов.

Л. В. МИРЗОЯН

## О КЛОЧКОВОЙ СТРУКТУРЕ МЕЖЗВЕЗДНОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО СЛОЯ\*

Более десяти лет назад с несомненностью выявилось, что межзвездная поглощающая среда имеет очень нерегулярную, клочковатую структуру. В течение последних лет мы в Советском Союзе выполнили некоторую работу с целью более детального изучения структуры системы поглощающих облаков и получения некоторых числовых параметров, описывающих это разнообразие облаков.

Первый вопрос, требующий ответа, следующий: известно, что каждая светлая диффузная туманность, как правило, освещается некоторой звездой высокой светимости. Связаны ли эти звезды и соответствующие туманности генетически и динамически, или эта связь случайная, обусловленная случайной встречей звезды и туманности во время их галактического движения, после которой они снова расходятся?

Чтобы ответить на этот вопрос, было решено сравнить с наблюдениями один весьма важный вывод, получаемый из гипотезы о случайной встрече.

Ясно, что каждая звезда может освещать вокруг себя только сферу определенного радиуса, в том смысле, что облако, расположенное внутри этой сферы, достигнет достаточного освещения, чтобы быть видимым как яркая диффузная туманность. Очевидно, что радиус такой сферы будет пропорционален квадратному корню из светимости звезды.

---

\* On the Patchy Structure of the Interstellar Absorbing Layer. Доклад, прочитанный на VII съезде Международного астрономического союза (МАС) в Цюрихе, 17 августа 1948 г. Опубликован в трудах МАС: Transactions of the International Astronomical Union, vol. VII, University Press, Cambridge, 1950, p. 452. Имеется русский перевод В. А. Амбарцумян, Научные труды, т. I, АН Арм. ССР, Ереван, 1960, стр. 356. Здесь печатается по этому переводу.

Возьмем определенный объем  $V$  галактического пространства. В этом объеме будут наблюдаться звезды различных спектральных типов и светимостей. Представим себе сферы, освещаемые этими звездами. Зная функцию светимости и звездную плотность для каждого спектрального класса, мы можем немедленно получить суммарный объем, освещаемый звездами каждого спектрального типа

$$O, B0, B1, B2-9, A, F, G, K, M.$$

При случайной связи туманностей с освещающими звездами вероятность для любого облака быть освещаемым звездой некоторого типа, скажем, типа  $A$ , будет равна полной сумме объемов, освещаемых всеми звездами типа  $A$  внутри рассматриваемого объема, деленной на весь объем  $V$ .

Мы в состоянии вычислить все эти вероятности. Если гипотеза о случайной встрече верна, тогда числа туманностей, освещаемых звездами различных типов, должны быть пропорциональны соответствующим вероятностям.

Сравнение вычисленных вероятностей с наблюдаемыми числами диффузных туманностей, освещаемых звездами различных типов, показало очень тесную пропорциональность. Поэтому мы можем заключить, что гипотеза о случайной встрече должна быть принята.

Эти соображения ведут к другому важному последствию. Легко показать, что звезды всех типов вместе освещают только  $1/2000$  объема межзвездного пространства. Это означает, что туманность имеет вероятность около  $1/2000$  быть освещаемой. Отсюда непосредственно следует, что число всех облаков в доступной для наших наблюдений части Галактики почти в  $2000$  раз больше числа ярких диффузных туманностей.

Следуя этому ходу рассуждений, мы установили, что число космических облаков в  $1 \text{ пс}^3$

$$n \cong 1/10000.$$

Если  $\sigma$  — среднее поперечное сечение туманности, то число облаков, пересекаемых лучом вдоль пути  $l$ , будет равно  $ln\sigma$

Если, далее,  $\varepsilon_0$  — средняя оптическая толща, выраженная в звездных величинах, то полное поглощение, вызванное этими облаками, будет:

$$\Delta m = \ln \varepsilon_0 = al,$$

где  $a$ —среднее поглощение на парсек.

Из общих данных о космическом поглощении мы знаем величину  $a$  (фотографическую или визуальную) и порядок величины поперечного сечения  $\sigma$ .

Поэтому, если мы предполагаем, что межзвездное поглощение в целом вызвано нашей системой облаков (или темных туманностей), мы можем вывести величину  $\varepsilon_0$ .

Первое и очень грубое определение  $\varepsilon_0$  показало, что она порядка  $0^m 2$  или  $0^m 3$  в фотографической области. Было ясно, что эта величина не находится в противоречии с нашими представлениями о средней прозрачности диффузных туманностей.

Было заключено, что поглощающий слой состоит из большого числа дискретных облаков, которые малы по сравнению с расстояниями между ними. Однако было желательным иметь другой, независимый и более точный метод для определения  $\varepsilon_0$ .

Подсчеты внегалактических туманностей, выполненные проф. Шэпли и д-ром Хабблом, привели к выводу, что числа туманностей ярче определенной величины на квадратный градус показывают значительные флуктуации. Мы показали, что даже для данной галактической широты эти флуктуации далеко превышают случайные флуктуации согласно закону Пуассона. На первый взгляд кажется, что это может быть приписано тенденции к сгущиванию, которая, конечно, существует и важность которой была подчеркнута Шэпли.

Однако только тенденция к сгущиванию не в состоянии объяснить главную часть флуктуаций. Это, в частности, ясно из следующего доказательства: когда мы разбиваем все небо на зоны по галактическим широтам и определяем флуктуации отдельно для каждой из этих зон, то относительная величина этих флуктуаций возрастает с убыванием галактической широты зоны.

Очевидно, однако, что случайные флуктуации в числе галактических поглощающих облаков на пути света, приходящего из различных внегалактических туманностей, будут вызывать дополнительные флуктуации в числе туманностей.

Остается теоретически исследовать, как эти флуктуации зависят от галактической широты  $b$ .

Имея эту цель в виду, вычислим:

$$\overline{(N_m - \bar{N}_m)^2} = \overline{N_m^2} - \bar{N}_m^2,$$

где  $N_m$  — число туманностей ярче некоторой величины  $m$  на квадратный градус. Это число  $N_m$  в отсутствие поглощения должно быть равным

$$N_m = N_0 \cdot 10^{0,6m}.$$

Прозрачность облака есть  $q = 10^{-0,4n}$ . Поэтому  $n$  облаков по лучу зрения ослабляют яркость туманностей в  $q^n$  раз. Наблюдаемое число туманностей, следовательно, должно быть

$$N_m = N_0 \cdot 10^{0,6(m-n)} = N_0 \cdot 10^{0,6m} q^{3/2n}.$$

Задача вычисления  $\bar{N}_m$ , таким образом, была сведена к вычислению  $q^{3/2n}$ . В то же время вычисление  $\overline{N_m^2}$  было сведено к вычислению  $q^3$ . Используя закон Пуассона для вероятности числа  $n$ , мы имеем после некоторых преобразований:

$$\bar{N}_m = N_0 \cdot 10^{0,6m} e^{-n_b} (1 - q^{3/2})^{n_b}.$$

Здесь  $n_b$  — среднее число поглощающих облаков, пересекаемых лучом зрения на широте  $b$ .

В случае плоско-параллельных слоев облаков мы имеем:

$$n_b = n_{\tau/2} \operatorname{cosec} b.$$

Таким же путем получаем

$$\overline{N_m^2} = N_0^2 10^{1,2m} e^{-2n_b} (1 - q^3)^{n_b},$$

$$\frac{\overline{(N_m - \bar{N}_m)^2}}{\bar{N}_m^2} = e^{n_b(1 - q^{3/2})^2} - 1 = e^{n_{\tau/2} \operatorname{cosec} b (1 - q^{3/2})^2} - 1. \quad (1)$$

С другой стороны, мы имеем

$$\tau_{\pi/2} = n_{\pi/2} \varepsilon_0, \quad (2)$$

где  $\tau_{\pi/2}$  — оптическая полутолща галактического поглощающего слоя в направлении, перпендикулярном галактической плоскости. Согласно последнему определению Паренато,  $\tau_{\pi/2} = 0^m 32$ .

Уравнения (1) и (2) определяют  $n_{\pi/2}$  и  $\varepsilon_0$ . Используя подсчеты Шэпли и Хаббла, мы вычислили значения

$$\frac{(N_m - \bar{N}_m)^2}{\bar{N}_m^2}$$

для различных широт и получили величину  $\varepsilon_0$  порядка  $0^m 25$ .

Не следует забывать, что необходимо ввести поправку за дисперсию предельных величин различных пластинок и за другие наблюдательные условия. Эта поправка является отчасти неопределенной. Тем не менее, несомненно, что  $\varepsilon_0$  заключена между

$$0^m 20 < \varepsilon_0 < 0^m 30.$$

Из (2) ясно, что  $n_{\pi/2}$  должно быть порядка единицы.

Проф. Кукаркин определил дисперсию фотоэлектрических избытков цвета внегалактических туманностей на различных широтах и оттуда получил непосредственно средний избыток цвета одного отдельного облака равным  $0^m 05$ . Умножая эту величину на соответствующий множитель, он нашел для оптической толщ одного облака приближенное значение

$$\varepsilon_0 = 0^m 27.$$

Б. Е. Маркарян из Бюраканской обсерватории определил величину  $\varepsilon_0$  из сравнения наблюдаемых флуктуаций в числах звезд, подсчитанных на низких широтах, с теорией флуктуаций чисел звезд на этих широтах, основанной на описанной выше модели слоя облаков. Его теория содержит слишком много алгебраических выкладок, чтобы быть приведенной здесь. Он получил тоже  $\varepsilon_0 \cong 0^m 25$ .

Мы можем заключить, что  $\varepsilon_0$  действительно этого порядка, хотя не исключаем, что величина  $\varepsilon_0$  может изменяться в различных областях нашей Галактики.

Теория флуктуаций суммарных яркостей звезд, содержащихся в квадратном градусе на галактическом экваторе, может принять очень простую и изящную форму. Функция распределения этой величины, которая есть не что иное, как интенсивность звездного компонента излучения Млечного Пути, удовлетворяет определенному функциональному уравнению.

При выводе этого уравнения я использовал принцип инвариантности, подобный принципу, введенному мною в теорию диффузного отражения от плоско-параллельных слоев. Точнее, мы использовали тот факт, что функция распределения остается неизменной, когда наблюдатель перемещается на расстояние  $\Delta r$  вдоль луча зрения.

Принцип дает следующее функциональное уравнение:

$$\Phi'(I) + \Phi(I) = \frac{1}{q} \Phi\left(\frac{I}{q}\right), \quad (3)$$

для функции распределения, когда  $I$  измеряется в некоторых удобных единицах.

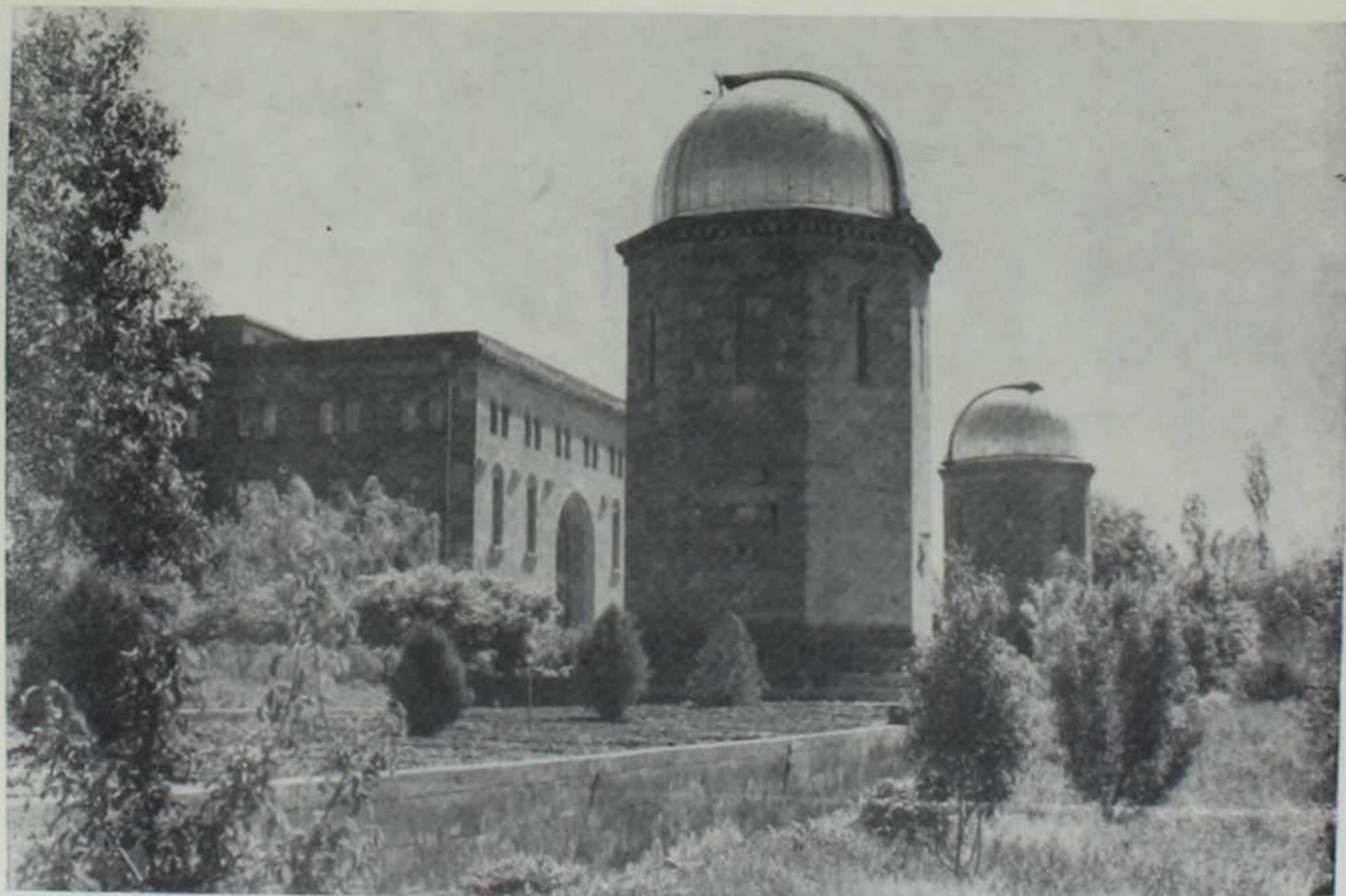
Из уравнения (3) для среднеквадратичного отклонения интенсивности легко получить

$$\frac{\overline{(I-I)^2}}{I^2} = \frac{1-q}{1+q}. \quad (4)$$

К несчастью, мы не имеем в нашем распоряжении достаточного числа определений  $I$  в различных точках Млечного Пути, чтобы проверить решение уравнения (3) и формулу (4).

Несколько лет назад академик Шайн обратил внимание на очень слабую корреляцию между избытками цвета В- и О-звезд по определениям Стеббинса и его сотрудников и яркостями соответствующих областей Млечного Пути.

Теория облакообразной структуры поглощающего слоя сразу объясняет это явление. Звезды списка Стеббинса имеют среднее расстояние около 1000 парсек, в то время как флук-



Бюраканская астрофизическая обсерватория АН Армянской ССР



туации яркости Млечного Пути вызваны, главным образом, облаками, находящимися на расстояниях 200—500 парсек.

Поэтому очертания облаков, ответственных за эти два явления, совершенно различны, и корреляция должна быть слабой.

Рассматриваемая проблема связана также с газовыми облаками. При предположении, что межзвездный газ также имеет такую кочковатую структуру, д-р Мельников проанализировал кривую роста для межзвездных линий и получил дисперсию скоростей газовых облаков порядка 8 км/сек.

Д-р Лайман Спитцер рассказал мне, что данные В. С. Адамса о расщеплении межзвездных линий на несколько компонентов приводят к числу газовых облаков, пересекаемых лучом зрения, равному числу пылевых облаков, вычисленному из нашей теории. Он, следовательно, отождествляет две системы облаков. Из этого отождествления следует, что облака межзвездного газа должны быть сравнительно малых размеров (около 8—10 парсек в диаметре). Очень важно подтвердить этот вывод наблюдениями.

В связи с проблемой, рассмотренной в этом кратком отчете, большое количество наблюдательных работ выполняется в Абастуманской обсерватории под руководством д-ра Харадзе. Определяются показатели цвета многих тысяч звезд в избранных площадках, так же, как и цвета многих внегалактических туманностей.

Однако для дальнейшего изучения структуры галактического поглощающего слоя очень важными должны быть фотоэлектрические данные о показателях цвета внешних галактик.

## О Б С У Ж Д Е Н И Е

*Л. Спитцер (младший)* отмечает, что очень важная работа, изложенная Амбарцумяном, разъяснила две основные проблемы в изучении межзвездной материи. Во-первых, отношение избирательного поглощения к общему, найденное из изучения внешних галактик, то же самое, что было получено многими специалистами для темной материи в галактической плоскости. Это устраняет противоречие, найденное Стеббинсом некоторое время назад и подчеркнутое Сирсом. Во-вторых,

близкое согласие между числом темных облаков на килопарсек, найденным Амбарцумяном тремя совершенно независимыми методами и соответствующим числом газовых облаков на килопарсек, указанным наблюдениями Адамса, дает дополнительное подтверждение в пользу картины малых, отдельных, беспорядочно распределенных облаков газа и твердых частиц. Эта картина находится в заметном контрасте с прежней картиной об однородной межзвездной среде. Спитцер заключает, что в первом приближении средние характеристики межзвездных облаков—размеры, разделение и общая природа—теперь начинают быть хорошо установленными.

*Примечание.* Представление о клочковатой структуре межзвездной поглощающей среды было выдвинуто и обосновано в работе В. А. Амбарцумяна и Ш. Г. Горделадзе в 1937 г. (Бюлл. Абастуманской астрофиз. обс., 2, 37, 1938). В статистическом изучении межзвездных поглощающих облаков важную роль сыграла теория флуктуаций яркостей в Млечном Пути и чисел внегалактических туманностей, развитая В. А. Амбарцумяном и его учениками. Важнейшие результаты исследований В. А. Амбарцумяна и, частично, его учеников, по этой проблеме изложены в статьях, включенных в первый том его «Научных трудов» (АН Арм. ССР, Ереван, 1960).

## ВВОДНЫЙ ДОКЛАД НА СИМПОЗИУМЕ ПО ЭВОЛЮЦИИ ЗВЕЗД\*

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

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

Численные значения параметров, характеризующих физи-

---

\* Discours introductif au symposium sur l'évolution des étoiles. Доклад на VIII съезде Международного астрономического союза (МАС) в Риме, в сентябре 1952 г. Опубликован в трудах МАС: Transactions of the International Astronomical Union, Vol. VIII. University Press, Cambridge, 1954, стр. 665. Печатается по русскому изданию: Вводный доклад на симпозиуме по эволюции звезд, АН СССР, Москва, 1952.

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

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

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

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

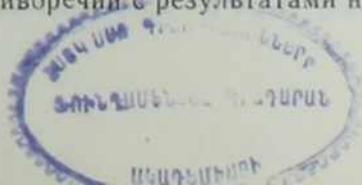
звезд и звездных систем, закономерностей, которые отражают объективную реальность процессов развития, происходящих в природе.

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

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

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

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



## 1. НЕУСТОЙЧИВЫЕ СИСТЕМЫ И НЕУСТОЙЧИВЫЕ ЗВЕЗДЫ

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

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

Наблюдения указывают на существование в Галактике динамически неустойчивых звездных групп (открытые скопления, О-ассоциации, звездные цепочки, кратные системы типа Тrapeции Ориона) наряду с относительно устойчивыми группами (двойные звезды, кратные системы типа  $\epsilon$  Лиры).

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

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

## 2. НЕРАВНОМЕРНОСТЬ В РАСПРЕДЕЛЕНИИ ЗВЕЗД

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

Между тем теория диссоциативного равновесия показывает, что при статистическом равновесии между процессами механического разрушения пар в результате возмущений от проходящих вблизи звезд поля и механического возникновения пар в результате тройных сближений (захват) число широких пар с взаимным расстоянием компонентов от 1 000 до 10 000 астрономических единиц должно было бы быть в  $10^8$  раз меньше, чем наблюдается сейчас. Еще более разительный контраст получается, если мы рассматриваем пары с взаимными расстояниями компонентов от 10 до 20 астрономических единиц. Это огромное расхождение можно объяснить только тем, что в Галактике происходит или недавно происходило возникновение новых двойных и кратных звезд не в результате механических процессов, а в результате глубоких физических процессов космогонического характера, причем число вновь возникающих таким образом пар во много миллионов раз больше, чем число пар, возникающих в результате захвата.

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

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

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

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

### 3. ЗВЕЗДНЫЕ АССОЦИАЦИИ

Если допустить, что звезды возникают группами, то нельзя без особых на то оснований считать, что полная энергия таких вновь возникающих групп должна быть всегда отрицательной. Правда, почти все изученные до сих пор системы (кратные звезды, открытые скопления) имели отрицательные энергии. Однако известно, что системы с положительной энергией не могут быть стационарными, они должны сразу же распасться на расходящиеся более мелкие группы отрицательной энергии и на одиночные звезды, что влечет за собой кратковременность их жизни и сравнительную редкость их. Отсюда возникает представление, что одиночные звезды общего галактического поля, так же как и кратные системы с небольшим числом составляющих, могут быть продуктами распада возникающих в Галактике богатых групп звезд с положительной энергией. Если эта гипотеза справедлива и если звезды Галактики продолжают возникать и на настоящем этапе ее развития, то мы должны наблюдать в ней группы звезд с положительной энергией, т. е. группы совместно возник-

кающих и расходящихся в пространстве звезд. Иными словами, мы должны наблюдать в Галактике, наряду со стационарными группами звезд, распадающиеся системы.

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

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

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

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

Характерная особенность О-ассоциаций заключается в наличии в них звездных скоплений, являющихся как бы ядрами этих ассоциаций. Так, ассоциация в Орионе содержит в своем

\* Здесь автор имеет в виду Пересмотренный список звездных ассоциаций, составленный Б. Е. Маркаряном (Доклады АН Арм. ССР, 15, 11, 1952). Число известных в настоящее время О-ассоциаций больше 50 (Transactions of the International Astronomical Union, Vol. XII B, 1966, p. 347).

составе скопление вокруг Трапедии Ориона и скопление NGC 1981. Ассоциация Цефей II содержит в своем составе скопление NGC 7160. Можно вычислить, пользуясь теорией вероятностей, что O-ассоциации не могут быть случайными сгущениями, возникшими в результате статистических флуктуаций в распределении звезд типов O и B. Точно так же они не являются кажущимися образованиями, вызванными особой прозрачностью галактического пространства в их направлениях.

Следовательно, это реальные системы звезд, имеющих общее происхождение. Поэтому встает вопрос о степени устойчивости этих систем.

Наблюдения показывают, что в ближайших O-ассоциациях, кроме звезд O-B2 и более поздних подразделений типа B, встречаются также звезды типа B8-B9, как и звезды типа A. Поэтому, хотя в наших работах наличие группы звезд типа O-B2 служило основным признаком, по которому мы устанавливали существование O-ассоциаций в той или иной области пространства, в этих ассоциациях присутствуют также звезды, принадлежащие к более поздним подразделениям главной последовательности. В качестве примера можно привести ассоциацию Ориона, где имеются звезды типов B8-B9 и даже более поздние.

Однако весьма существенно, что функция светимости в O-ассоциациях резко отличается от функции светимости для общего звездного поля в том смысле, что относительное число звезд низкой светимости в O-ассоциациях гораздо меньше. Насколько позволяют судить имеющиеся данные, O-ассоциации в этом смысле сильно напоминают те открытые звездные скопления, в которых самые яркие звезды являются гигантами типа O или B0, т. е. O-скопления по классификации Маркаряна.

Хотя данных о функциях светимости O-ассоциаций в области весьма низких светимостей пока нет, все же указанное сходство с O-скоплениями позволяет произвести некоторую экстраполяцию функции светимости и на основании соотношения масса—светимость найти массу каждой ассоциации. Поскольку известны линейные размеры ассоциаций, можно определить и приближенное значение пространственной плотности в них. Пространственная плотность O-ассоциаций, вычисленная таким способом, оказывается примерно на один

порядок или полпорядка ниже пространственной плотности окружающего звездного поля. Правда, мы должны учесть возможность серьезных положительных поправок. Так, например, академик Г. А. Шайн, сравнив распределение больших газовых туманностей в Галактике с распределением О-ассоциаций, фактически показал, что все богатые О-ассоциации (за исключением ассоциации, расположенной вокруг и  $h$  Персея) содержат большие светлые диффузные туманности. Возможно, что в ассоциациях имеются и другие, например слабосветящиеся или темные, тела. Однако, если мы увеличим полученную на основании функции светимости оценку массы даже вдвое или втрое, мы все же получим плотность, не превышающую плотность окружающего звездного поля. Согласно критерию устойчивости, звездные системы, обладающие столь низкой средней плотностью, не могут находиться в стационарном состоянии. Они должны распадаться под действием дифференциального эффекта галактического вращения. Иными словами, система должна разрушиться под действием общего поля притяжения Галактики, ибо силы взаимного притяжения будут недостаточны для того, чтобы удержать ее члены в первоначальном объеме. Для разрушения системы будет при этом достаточно нескольких десятков миллионов лет.

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

ственных» скоростей удаления членов ассоциации от ее центральной области должно говорить о том, что О-ассоциации являются системами, полная энергия которых по отношению к своему центру тяжести существенно положительна.

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

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

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

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

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

с вероятной ошибкой этой величины в 10 раз меньшей, т. е. равной  $\pm 0,00027 \frac{\text{секунд дуги}}{\text{градус в год}}$ .

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

Маркарян в Бюракане, рассмотрев собственное движение 17 звезд типов О-В2, входящих в ассоциацию Цефей II, расположенную вокруг  $\mu$  Цефея, показал, что эта ассоциация расширяется со скоростью

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

с вероятной ошибкой этой величины, равной

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

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

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

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

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

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

изучения расширения ассоциации Ориона необходимо произвести подробное и тщательное исследование.

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

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

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

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

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

В богатых О-ассоциациях обычно встречаются и скопления, и цепочки, и трапеции. Это говорит о том, что звезды в ассоциациях возникают небольшими группами и притом раз-

новременно и в разных местах. Процесс распада этих групп заслуживает детального изучения.

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

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

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

Перечислим здесь четыре системы типа Трапеции, главные звезды которых имеют спектры в интервале  $O-B2$ . Это прежде всего звезды  $\sigma$  Ориона и  $\theta^1$  Ориона, входящие в ассоциацию Ориона. Третья звезда  $\zeta$  Персея входит в упомянутую выше ассоциацию Персей II. Наконец, четвертая звезда  $\tau$  Большого Пса входит в скопление NGC 2362, являющееся ядром О-ассоциации.

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

В некоторые О-ассоциации входят сверхгиганты самых поздних спектральных типов, среди которых выделяются полуправильные и неправильные переменные. Среди представителей этого класса объектов выделяется гранатовая звезда  $\mu$  Цефея, которая определенно входит в хорошо изученную расширяющуюся ассоциацию Цефей II. Интересно, что изучен-

---

\* Г. А. Шайн, В. Ф. Газе, Некоторые результаты исследования диффузных газовых туманностей и их отношение к космологии, АН СССР, Москва, 1952.

ная Бидельманом ассоциация вокруг  $\gamma$  и  $h$  Персея, не содержащая заметной газовой туманности, в то же время имеет в своем составе ряд красных сверхгигантов, большинство которых являются полуправильными переменными. Вместе с тем в этой ассоциации наблюдается наиболее высокий процент звезд типа В с эмиссионными линиями.

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

Мы не будем перечислять здесь в подробностях свойства второго основного вида ассоциаций—Т-ассоциаций. Упомянем только, что они состоят из переменных карликов типа Т Тельца. В спектрах этих звезд наблюдаются яркие линии, а блеск испытывает неправильные изменения. Попытка объяснить Т-ассоциации тем, что обычные карлики, попадая в пылевую туманность, приобретают эти физические свойства, не привела к разумным результатам. Приходится допустить, что переменность и наличие ярких линий являются свойствами, отражающими в какой-то мере внутреннюю физическую природу и состояние этих звезд. В таком случае цепь рассуждений, аналогичная той, которую мы привели здесь в отношении О-ассоциаций, убеждает в том, что Т-ассоциации—это распадающиеся группы молодых звезд и что в этом случае мы опять встречаемся с групповым процессом звездообразования.

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

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

#### 4. ДВА МЕХАНИЗМА ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ

На основании изложенного можно говорить о двух сходных между собой механизмах звездообразования, действующих в настоящее время с достаточной продуктивностью в

Галактике. В О-ассоциациях возникают звезды высоких светимостей, в частности звезды верхней части главной последовательности от О до G; в Т-ассоциациях возникают звезды нижней части главной последовательности—карлики типов G-M.

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

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

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

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

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

Звезды обеих частей главной последовательности, возникая в звездных ассоциациях, после кратковременного пребывания в них расходятся, входя в состав общего галактического поля, где и проводят свою жизнь в течение миллиардов лет. Естественно поэтому, что число звезд, находящихся в ассоциациях, мало по сравнению с числом звезд поля.

С другой стороны, продолжительность пребывания звезд в стадиях O-B2 мала. Она сравнима с продолжительностью жизни самой ассоциации, т. е. порядка  $10^7$  лет. Поэтому эти звезды (особенно O-звезды) в большинстве своем входят в O-ассоциации. За время, нужное для того, чтобы покинуть ассоциацию, их спектральный тип успевает меняться. Естественно при этом предположить (см. дальше), что, изменяясь, молодые звезды ранних типов переходят в звезды более поздних

типов и более низкой светимости, т. е. меньшей массы, поскольку у звезд ранних типов мы наблюдаем явление интенсивного выбрасывания вещества в окружающее пространство.

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

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

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

## 5. О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ СФОРМИРОВАВШИХСЯ ЗВЕЗД

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

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

То, что в О-ассоциациях, наряду со звездами типов О-В2, мы имеем некоторое число звезд более поздних спектральных типов и более низких светимостей, указывает, что звезды могут входить в главную последовательность диаграммы спектр—светимость в различных местах этой последователь-

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

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

Легко видеть, что интенсивность корпускулярного излучения определяет собой функцию светимости для звезд общего галактического поля. Остановимся на этом несколько подробнее. Состояние звезды на главной последовательности определяется одним параметром, например массой  $M$  или светимостью  $L$ . Поэтому и мощность корпускулярного излучения —  $dM/dt$ , зависящая от состояния звезды, определяется этим параметром.

\* В. Г. Фесенков, Корпускулярная радиация как фактор эволюции Солнца и звезд, АН СССР, Москва, 1952.

Иными словами,

$$\frac{dM}{dt} = -f(L), \quad (1)$$

откуда

$$\frac{dM}{dL} \cdot \frac{dL}{dt} = -f(L),$$

или

$$\frac{dL}{dt} = -\frac{dL}{dM} f(L).$$

Но величина  $dL/dM$  также есть вполне определенная функция  $L$ , поэтому

$$\frac{dL}{dt} = -g(L), \quad (2)$$

где

$$g(L) = f(L) \frac{dL}{dM}.$$

Из (2) получается значение промежутка времени, в течение которого светимость изменяется на  $dL$ ,

$$-\frac{dL}{g(L)} = dt. \quad (3)$$

Примем, что Галактика находится в стационарном состоянии по отношению к процессу звездообразования и допустим на один момент, что все звезды возникают как объекты одной и той же высокой светимости  $L_1$ . В этом случае число звезд со светимостями между  $L$  и  $L + dL$  должно было бы быть пропорционально времени пребывания звезды на том этапе ее развития, когда светимость заключена в указанных пределах. Если обозначим дифференциальную функцию светимости через  $\varphi(L)$ , то, на основании (3), мы должны иметь:

$$\varphi(L) = \frac{C}{g(L)} = \frac{dM(L)}{dL} \cdot \frac{C}{f(L)}, \quad (4)$$

где  $C$ —постоянная, определяемая нормировкой функции светимости.

На самом деле звезды, возникающие в звездных ассоциациях, появляются с различной начальной светимостью  $L_1$ . Если  $\psi(L_1)$  есть дифференциальная функция светимости для совокупности звезд, возникающих в ассоциациях горячих гигантов, то вместо (4) мы должны иметь более общую формулу

$$\varphi(L) = \frac{dM(L)}{dL} \cdot \frac{C}{f(L)} \int_{L_1}^{\infty} \psi(L_1) dL_1. \quad (5)$$

Такое простое соотношение связывает между собой функцию светимости общего звездного поля Галактики для верхней части главной последовательности  $\varphi(L)$  и функцию светимости звезд, возникающих в ассоциациях горячих гигантов,  $\psi(L_1)$ . Поскольку обе функции  $\varphi(L)$  и  $\psi(L_1)$  могут быть определены из наблюдений, открывается возможность найти функцию  $f(L)$ , т. е. мощность корпускулярного излучения в зависимости от светимости.

Более того, Паренаго, используя введенное Фесенковым и подтвержденное Масевич простейшее допущение об  $f(L)$ , заключающееся в том, что

$$f(L) = aL,$$

где  $a$ —постоянная, и допуская, что начальная светимость  $L_1$  у всех звезд была одна и та же, получил на основании соображений, аналогичных изложенным выше, довольно хорошее представление наблюдаемой функции светимости  $\varphi(L)$  для верхней части главной последовательности звезд общего галактического поля. С другой стороны, принятое Фесенковым выражение для  $f(L)$  приводит к вполне разумным выводам о вращательном моменте Солнца в предыдущие эпохи и к разумным срокам для эволюции горячих гигантов.

Таким образом, все данные говорят о том, что, вступив в главную последовательность, звезды, возникающие в ассоциациях горячих гигантов, эволюционируют вдоль этой последовательности, продвигаясь до типа G.

У звезд солнечного типа истечение вещества становится настолько слабым, что дальнейшее значительное продвиже-

ние вдоль главной последовательности требует уже десятков миллиардов лет. Вместе с тем, начиная от типа G в главную последовательность входит много молодых звезд, возникающих в T-ассоциациях. Как и насколько быстро происходит продвижение этих молодых звезд вдоль отрезка G-M, мы пока не можем сказать.

Следующий вопрос теории звездной эволюции заключается в следующем. Оказываются ли вновь возникающие звезды сразу после своего образования точно на главной последовательности или они переходят в главную последовательность после хотя бы кратковременного пребывания в других областях диаграммы спектр—светимость?

Независимо от конкретных теорий внутреннего строения звезд следует считать, что соотношение между массой и светимостью справедливо только для звезд, находящихся в состоянии механического и лучистого равновесия. Точно так же соотношение между светимостью и радиусом, выражаемое линией главной последовательности на диаграмме спектр—светимость, соответствует тем же условиям равновесия. Очевидно, что при возникновении звезды из других форм существования космического вещества требуется некоторое время для того, чтобы она пришла в состояние равновесия (точнее, в состояние стационарности) и приобрела соответствующую светимость. Это должно найти свое выражение в отклонениях недавно сформировавшихся звезд как от соотношения масса—светимость, так и от линии главной последовательности на диаграмме спектр—светимость. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что линия главной последовательности на диаграммах спектр—светимость, составленных для O-ассоциаций и для открытых скоплений, отклоняется от нормальной или средней линии главной последовательности, особенно в отношении наиболее ранних звезд данной ассоциации или скопления. Это отклонение выражается в том, что звезды наиболее ранних типов указанных звездных групп имеют в среднем более высокие светимости, чем соответствующие звезды галактического поля. Точнее, левый верхний конец главной последовательности в этих системах резко, почти вертикально поднимается вверх. При этом в разных системах этот левый верхний конец соответствует различным спектральным типам. В случае ассоциации Персей I этот вертикальный подъем в главной последовательности происходит в типах B0—B2,

что очень хорошо видно на диаграмме, составленной Бидельманом. В случае ассоциации вокруг  $\gamma$  Персея, тот же подъем происходит в типе В1. В случае Плеяд и Гиад он происходит в более поздних спектральных подразделениях. Факты этого рода, касающиеся открытых скоплений, подробно рассмотрены О. Струве.

Перечисленные факты говорят в пользу того, что при образовании новых групп звезд наиболее массивные из звезд переходят в состояние равновесия медленнее, чем звезды низкой светимости, и поэтому пребывают вне основной линии главной последовательности более длительное время.

Для молодых звезд отмечены также заметные отклонения от соотношения масса—светимость. Упомянем одно из этих отклонений. В тесных двойных звездах, которые содержат составляющую, имеющую спектр Вольфа-Райе, вторая составляющая часто имеет спектр О. Несмотря на то, что масса звезды Вольфа-Райе обычно в два-три раза меньше массы О-звезды, их фотографические светимости мало отличаются друг от друга, а балометрическая составляющая Вольфа-Райе более яркая. Это означает, что звезда Вольфа-Райе, весьма далекая от состояния равновесия, имеет светимость, совершенно отличную от той, которая должна была бы быть согласно соотношению масса—светимость.

## 6. ДРУГИЕ ОБЪЕКТЫ

Нарисованная выше картина, основанная на фактах звездной астрономии, оставляет в стороне несколько важных групп объектов. Остановимся кратко на этом.

*Красные и желтые гиганты и сверхгиганты.* Выше мы видели, что в О-ассоциациях, наряду со звездами типов О-В, наблюдаются иногда холодные сверхгиганты типа М. Поскольку сверхгиганты типа М образуют плоские подсистемы, можно думать, что они являются теми или иными стадиями объектов, возникающих в О-ассоциациях.

Единство соотношения масса—светимость для ранних и поздних звезд высокой светимости позволяет пойти в сторону обобщения сделанного выше утверждения. В самом деле, это единство говорит в пользу того, что внутреннее строение тех или других звезд в основном одинаково. Это означает,

что холодный сверхгигант или гигант состоит из ядра, представляющего по существу высокотемпературную звезду главной последовательности, и протяженной оболочки сравнительно малой плотности и массы. Когда оптическая толщина этой оболочки мала, мы наблюдаем сочетание внешних признаков горячей и холодной звезды. Этим, а не наличием горячего спутника, следует объяснить, как показал Соболев, спектральные особенности звезд типа R Водолея.

Если эта точка зрения справедлива, то и цефеиды следует считать некоторыми стадиями развития объектов, возникающих в O-ассоциациях. Цефеиды образуют плоскую подсистему, однако их распределение совершенно безразлично по отношению к O-ассоциациям. Последнее говорит о том, что свойства цефеид приобретаются на сравнительно позднем этапе развития.

*Звезды, образующие сферические подсистемы.* К их числу относятся субкарлики, короткопериодические цефеиды и другие объекты. Сама диаграмма спектр—светимость для этих звезд говорит об условиях стационарности, отличных от условий стационарности звезд главной последовательности. Это, по-видимому, вызвано иным химическим составом. После работ Бааде по выяснению природы звездного населения центральной части туманности Андромеды можно считать правдоподобным предположение, высказанное Паренаго, Струве и др., что эти звезды возникают в центральной области Галактики и, таким образом, имеют происхождение, резко отличное от звезд главной последовательности.

*Белые карлики.* Принятие вывода о совместном происхождении компонентов кратных звезд и звездных скоплений заставляет считать, что механизм возникновения белых карликов может быть тот же, что и механизм возникновения звезд плоских подсистем, поскольку довольно часто белые карлики являются компонентами кратных звезд, входящих в плоские подсистемы. Возможно, впрочем, что они возникают также совместно с красными карликами. Однако дальнейшее развитие этих объектов отличается от развития звезд главной последовательности.

*Планетарные туманности. Новые. Сверхновые.* Вопросы генезиса этих сравнительно редких объектов пока мало раз-

работаны. Возможно, что по величине своей массы эти объекты резко отличаются от обычных звезд. Я могу сослаться здесь на работы проф. Мустеля. Согласно этим работам, массы новых и сверхновых должны быть во много раз больше масс обычных звезд, светимость которых равна светимости этих объектов в минимуме их блеска.

*Открытые скопления.* Теория звездных ассоциаций заставляет частично изменить имевшиеся до сих пор представления о динамике открытых скоплений. Наблюдения показывают, что большинство скоплений типа О входит в О-ассоциации. Однако ассоциации подвержены быстрому распаду. Поэтому, если О-скопления остаются в течение долгого времени стационарными системами, мы должны были бы наблюдать в Галактике много скоплений, являющихся продуктом эволюции О-скоплений. При этом очевидно, что за время распада ассоциаций спектральный тип наиболее ранних звезд скопления должен был бы измениться.

Согласно Маркаряну, О-скопления отличаются от В-скоплений и А-скоплений крайней бедностью звездами. Поэтому мы должны были бы наблюдать очень много бедных скоплений, бывших ранее О-скоплениями. Однако наблюдаемые А-скопления очень богаты звездами, а В-скопления занимают в этом отношении промежуточное положение. Остается допустить, что с течением времени не только понижается светимость членов О-скоплений, но меняется и геометрическая структура их: либо они совершенно рассеиваются в пространстве, либо расширяются настолько, что становятся незаметными на больших расстояниях. В обоих случаях получается, что О-скопления нестационарны. Возможно, что имеет место рассеяние скопления вслед за рассеянием всей ассоциации. Это значит, что О-скопления могут быть системами, обладающими положительной энергией. Это не должно казаться очень удивительным. Если раньше, наблюдая открытые скопления, мы непосредственно делали вывод об отрицательности их энергии, об их стационарности, то этот вывод основывался на предполагаемой большой продолжительности существования скоплений, в пользу чего говорила многочисленность этих объектов. По отношению к О-скоплениям этот ход рассуждений не обязателен. Наоборот, наличие в них звездных цепочек и кратных систем типа Трапеции

говорит о том, что они скорее являются нестационарными объектами. Поэтому возможно, что многие из них обладают положительной энергией.

### 7. ИЗ ЧЕГО ВОЗНИКАЮТ ЗВЕЗДНЫЕ ГРУППЫ

Выше мы не останавливались на вопросе, из чего возникают звезды, входящие в звездные ассоциации. Факты, приведенные в докладе академика В. Г. Фесенкова, говорят в пользу возникновения звезд из волокон и сгустков диффузного вещества. Они говорят вновь о групповом характере звездообразования. Данные, приводимые академиком Г. А. Шайном, подтверждают, что процесс звездообразования тесно связан с развитием диффузных туманностей. При разрешении рассматриваемого вопроса следует также иметь в виду существование таких объектов, как глобулы и радиозвезды. В свою очередь эти два типа объектов связаны с диффузной материей. Исследование связи всех этих форм существования материи несомненно приблизит нас к выяснению механизма образования звездных групп.

### 8. ОБ АККРЕЦИИ

Представленный выше обзор, основанный на обобщении фактических данных о звездах, находится в резком противоречии с теорией аккреции, выдвигаемой проф. Хойлем и его последователями.

Согласно теории аккреции, звезды постоянно приобретают массу за счет межзвездного вещества. Развитие звезд главной последовательности идет в направлении, противоположном изложенному выше, а горячие гиганты являются старыми звездами, захватившими большую массу.

Кратные звезды, согласно этой теории, возникают из широких кратных систем в результате прироста массы. В свою очередь широкие кратные звезды образуются в результате действия механизма захвата.

Однако установление большой роли светового давления в линии  $L_{\alpha}$ , когда мы имеем дело с газовыми массами, окружающими звезды высоких температур, ставит под сомнение самую возможность захвата газового вещества звездами типа

В и О, поскольку световое давление будет в результате пре-восходить притяжение.

К сожалению, все те факты, о которых мы говорили выше, также противоречат теории аккреции.

Ей противоречит само существование звездных ассоциаций. Ей противоречит их расширение. Ей противоречит то, что существенный процент звезд О-В0 находится в компактных, но сравнительно бедных скоплениях. Ей противоречит само существование кратных систем типа Трапеции и звездных цепочек. Ей резко противоречит существование таких кратных систем, как  $\gamma$  Андромеды, в которой вокруг главной звезды А третьей величины на расстоянии  $10''$  обращается тесная пара ВС с расстоянием  $BC=0'',35$ , состоящая из компонентов 5- и 6-й величины, или как Ригель ( $\beta$  Ориона), у которого два визуальных спутника В и С образуют тесную пару из двух звезд, каждая из которых на восемь величин слабее главной звезды, причем расстояние ВС в 50 раз меньше, чем расстояние от А до ВС.

Недостаток времени не позволяет мне остановиться на других теориях, также построенных по образцу старых космогонических теорий, на основе умозрения.

К сожалению, и они оказываются не в состоянии объяснить факты. Между тем изложенная в настоящем докладе концепция не только является естественным разумным обобщением всех указанных фактов, но предсказывает, в свою очередь, новые факты. Из предсказываемых таким образом новых фактов, еще окончательно не подтвержденных наблюдениями, следует упомянуть неустойчивость систем типа Трапеции Ориона и расхождение звезд Т-ассоциаций.

## 9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время данные астрономических наблюдений уже позволяют вскрыть многие закономерности происхождения и развития звезд. Большинство закономерностей, о которых говорилось выше, установлено впервые астрономами Советского Союза. При установлении этих закономерностей мы, советские астрономы, опираемся на огромный фактический материал, собранный в астрономических обсерваториях всех стран мира, и на теоретические труды ученых различных на-

циональностей. Вот почему мы придаем огромное значение мирному сотрудничеству астрономов всего мира. Относясь с глубоким уважением к трудам подлинных ученых, истинных тружеников науки, мы считаем, что совместная разработка больших научных проблем, в том числе такой великой проблемы, как проблема развития небесных тел, будет способствовать делу культурного сближения народов, делу взаимного понимания между ними.

Это будет наша скромная лепта в благородное дело укрепления мира во всем мире.

### О Б С У Ж Д Е Н И Е

В связи с докладом В. А. Амбарцумяна *О. Струве* желает напомнить несколько фактов:

1. Недавно Хербиг представил Американскому астрономическому обществу некоторое число новых результатов, относящихся к спектрам звезд типа Т Тельца. Их спектральные линии оказались сильно расширенными и неглубокими. Несмотря на то, что эти звезды того же спектрального типа, что и карлики главной последовательности (тип К), спектры их отличаются от нормальных. Форма линий позволяет определить очень большую скорость вращения, около 50 км/сек на экваторе, намного больше, чем скорость вращения обычных звезд.

Отсюда Струве заключает, в согласии с работами В. А. Амбарцумяна и Холопова, что звезды типа Т Тельца образуют особую группу звезд, возникших в облаке, с которым они ассоциированы.

2. Струве замечает, что Иозеф Мойрерс из Бонна выразил свое несогласие относительно реальности звездных цепочек. Струве высказал пожелание, чтобы советские астрономы или астрономы других стран представили статистическое доказательство реальности звездных цепочек.

3. Струве напоминает, что в своих первых статьях В. А. Амбарцумян придерживался взгляда, что дозвездная материя находится в состоянии, отличном от состояния межзвездной материи. Струве хотел бы знать, придерживается ли В. А. Амбарцумян все еще этой точки зрения.

В. А. Амбарцумян уточняет, что в своих первых работах он умышленно не настаивал на состоянии дозвездной материи, так как в то время невозможно было сделать какой-либо положительный вывод. Скорее всего он думал о группах небольших объектов, отличающихся от звезд и от туманностей. Теперь он склонен думать, что дозвездное состояние связано с существованием дискретных волокон, которые, согласно работам Фесенкова и Масевич, по-видимому, играют важную роль. Однако в действительности он не может еще отдать предпочтение какой-либо из этих двух гипотез.

Затем Б. Линдبلاد читает свой доклад об эволюции звездных систем (галактик).

За ним Оорт делает следующее сообщение:

В 1944 г. Блау рассмотрел группу звезд ранних типов вокруг  $\zeta$  и  $\eta$  Персея. Он указал, что хотя, судя по распределению на небе, звезды в этой области должны быть физически связаны, их собственные движения показывают значительные различия. Новые собственные движения, которые он недавно определил из совершенно независимых данных, подтверждают эти различия и, более того, показывают, что группа расширяется. Скорость расширения, исправленная за видимое сжатие, обусловленное удалением группы от нас, равна  $0''.00268$  в год на градус: вероятная ошибка этого результата составляет около 10%. Средняя пространственная скорость расширения равна  $12$  км/сек. Эти данные дают прямое подтверждение гипотезы, выдвинутой Амбарцумяном, согласно которой группы слабо связанных звезд ранних типов должны иметь врожденную тенденцию расширяться.

Расширение в случае группы  $\zeta$  Персея исключительно быстрое. Это указывает на то, что звезды образовались около 1.3 миллиона лет назад в объеме пространства значительно меньшем, чем объем, занимаемый группой в настоящее время. Группа содержит три звезды очень высокой светимости, а именно,  $\eta$ ,  $\zeta$  и  $\xi$  Персея. Скопление небольших линейных размеров к югу от  $\eta$  Персея так же, как и некоторое число плотных межзвездных облаков, вероятно, связано с расширяющейся группой.

Весьма похожее расширяющееся семейство нашли недавно Блау и Морган в Ящерице с центром  $l=67^\circ$ ,  $b=-14^\circ$ . Ав-

торы дают 31 член этой группы, среди которых звезда типа О 10 Ящерицы и пять других звезд (6, 8, 12, 14 и 16 Ящерицы) ярче—3,0 абсолютной величины: 12 и 16 Ящерицы являются переменными типа  $\beta$  Большого Пса. Размеры группы равны  $120 \times 70$  парсек, что около трех раз больше размеров семейства около  $\gamma$  Персея. Коэффициент расширения равен  $6''00086$  в год на градус, отсюда возраст агрегата—4.2 миллиона лет. Средняя пространственная скорость расширения равна 8 км/сек.

Упомянутые две группы настолько молоды, что их размеры практически определяются начальными скоростями расширения. Когда расширяющаяся группа становится старше 10 миллионов лет, влияние возмущающей силы Галактики становится важным. Спустя около 60 миллионов лет такая группа приобретет вытянутую форму с отношением осей 2.5, при этом большая ось направлена на  $12^\circ$  галактической долготы, образуя, таким образом, угол  $45^\circ$  с направлением на галактический центр. Вытянутость возрастает со временем, в то же время направление большой оси приближается к направлению вращения галактической системы.

Вероятно, большая группа В-звезд в Скорпион-Центавре, так же, как и ядро движущегося скопления Большой Медведицы (состоящего из пяти ярких и около восьми известных, более слабых звезд в Большом Ковше), представляют случай такого же рода. Блау выполнил исчерпывающее исследование облака Скорпион-Центавра. Он нашел, что облако имеет вытянутую форму, проектирующуюся на галактическую плоскость с размерами около  $290 \cdot 100$  парсек, причем большая ось составляет с направлением к галактическому центру угол  $45^\circ$  в направлении растущих долгот. На основании гипотезы о том, что форма и ориентация группы обусловлены механизмами начального расширения и дифференциального галактического вращения, эти данные должны указать на возраст 72 миллиона лет и на среднее начальное расширение со скоростью 0.7 км/сек.

Ядро скопления Большой Медведицы почти подобным образом вытянуто и ориентировано. Если вытянутая форма интерпретируется как признак расширения, то соответствующий возраст должен быть около 45 миллионов лет; гипотеза расширения должна значительно уменьшить расхождение, найденное Роман между параллаксами, определенными из

движения, и средними тригонометрическими параллаксами. Члены этой группы являются карликами спектральных типов от А до К.

Дальнейший прогресс в изучении расширяющихся групп может быть достигнут, только когда с большей точностью будут определены собственные движения звезд ранних типов. Принимая во внимание значение этой проблемы для космогонии, мы хотим подчеркнуть важность повторных специальных наблюдений звезд ранних типов посредством меридианных кругов.

*Бааде* сомневается в том, что эллиптичность группы звезд В в Скорпион-Центавре является следствием вращения. На самом деле, во внегалактических туманностях звезды В формируются вдоль спиральных ветвей, по существу уже очень протяженных.

*Оорт* согласен и считает, что он недостаточно подчеркнул, что не все представленные результаты имеют одинаковую ценность.

*Бааде* уточняет, что, по его мнению, случай группы звезд, расположенных в Ящерице и исследованных А. Блаау и В. В. Морганом, более уверенный.

*Граттон* указывает, что в обсерватории Ева Перон ведется работа по исследованию скопления  $\chi$  Тукана, которое очень похоже на звездную ассоциацию.

Были определены радиальные скорости звезд ассоциации. Их дисперсия в три раза больше на краях ассоциации, чем в ее центре, и это в точности то, чего можно было ожидать для расширяющейся системы звезд.

*Курганов* отмечает, что одно затруднение, относящееся к ассоциациям, теперь уже разрешено благодаря недавнему открытию Бааде, представленному 5 сентября Комиссии № 27, о возрастании вдвое всех внегалактических расстояний.

До сих пор считалось, что звездные ассоциации в системах М31, М33 и в Магеллановых Облаках имеют диаметры около двух раз меньше, чем галактические ассоциации. Если умножить размеры этих внегалактических объектов на 2, то

получится порядок величины, сравнимый с размерами галактических ассоциаций.

Прежде чем принять крайне важное решение, на котором настаивает В. А. Амбарцумян, о том, что аккреция не играет существенной роли в эволюции, Гольд хотел бы узнать более подробно причины, побуждающие В. А. Амбарцумяна отказаться от теории аккреции. Факты, которые использует В. А. Амбарцумян для опровержения теории аккреции, точно те же самые, которые были использованы авторами этой теории, чтобы доказать ее.

Гольд считает, что не только необходимо обсудить желательность использования теории аккреции для объяснения фактов, но также обсудить непосредственно динамику аккреции, чтобы выяснить, вынуждены ли мы допустить аккрецию, несмотря на требующиеся усилия, чтобы примирить теорию с фактическими данными, имеющимися в нашем распоряжении.

В. А. Амбарцумян заметил, что он не возражает против проведения исследований в смысле Гольда, Хойла и Бонди. Он желает, чтобы эти исследования были ближе к наблюдательным фактам и менее умозрительными. Он считает, что исследования такого же характера, ведущиеся в СССР, более продуктивны.

*Примечание.* Многие закономерности происхождения и развития звезд, в частности изложенные в этом докладе, были установлены благодаря открытию и исследованию звездных систем нового типа — звездных ассоциаций. Первое сообщение об этом было опубликовано в докладе В. А. Амбарцумяна на юбилейной сессии АН СССР, посвященной 30-летию Великой Октябрьской социалистической революции, вышедшем отдельной книжкой (Эволюция звезд и астрофизика, АН Арм. ССР, Ереван, 1947). Основные особенности звездных ассоциаций и их значение для звездной космогонии были вскрыты в работах В. А. Амбарцумяна «Звездные ассоциации» (Астрон. ж., 24, 3, 1949), В. А. Амбарцумяна и Б. Е. Маркаряна «Звездная ассоциация вокруг Р Лебеда» (Сообщ. Бюраканской обс., 2, 1949) и других. В 1950 г. В. А. Амбарцумян и Б. Е. Маркарян за открытие и изучение звездных ассоциаций были удостоены Государственной премии. За время, прошедшее после этого доклада, исследованиями, выполненными главным образом в Советском Союзе, США, Голландии и Мексике, были разработаны многие вопросы, выдвинутые в нем, и в настоящее время звездные ассоциации являются важнейшим средством при изучении проблем, связанных с возникновением и развитием звезд.

## О ПРОИСХОЖДЕНИИ ЗВЕЗД\*

Недавний прогресс в изучении звездных ассоциаций, в особенности установление процесса их распада, привел к представлению о групповом возникновении звезд в Галактике [1].

О том, что в Галактике может иметь место групповое возникновение звезд, уже указывалось статистическими данными, относящимися к двойным звездам, кратным звездам и открытым звездным скоплениям. Однако только детальное изучение О- и Т-ассоциаций сделало ясным, что совместное возникновение звезд в группах является общей закономерностью, по крайней мере, в отношении звезд, составляющих плоские и промежуточные подсистемы.

В самом деле, поскольку звездные ассоциации являются системами с положительной полной энергией, т. е. неустойчивыми расширяющимися системами, продолжительность их жизни должна быть весьма мала (порядка  $10^7$  лет для О-ассоциаций и порядка  $10^6$  лет для Т-ассоциаций). Поскольку продолжительность жизни нашей Галактики, по крайней мере, в тысячи раз больше, то полное число звездных ассоциаций, возникших и рассеявшихся в течение жизни Галактики, должно быть в несколько тысяч раз больше, чем число ассоциаций, существующих в настоящее время. Общее число О-ассоциаций в Галактике должно быть порядка  $10^4$ . Следовательно, число О-ассоциаций, существовавших за время жизни Галактики, должно быть порядка  $10^6$ . Число Т-ассоциаций, возникших и

---

\* On the Origin of Stars. Доклад на пятом Льежском международном астрофизическом коллоквиуме, 10—12 сентября 1953 г. Опубликовано в трудах коллоквиума: *Les processus nucleaires dans les astres*, Louvain, 1954, p. 293. Имеется русское издание этого сборника: *Ядерные процессы в звездах*, ИЛ, Москва, 1957. Здесь приводится новый исправленный перевод текста с оригинала.

рассеявшихся, соответственно порядка  $10^8$ . Если считать, что в каждой ассоциации возникает около сотни звезд, то мы получаем для нижней границы числа звезд, возникших в О-ассоциациях, соответственно,  $10^8$  и  $10^{10}$ .

Эти значения близко подходят к общим числам звезд, принадлежащих О-F и G-K интервалам главной последовательности. Что касается слабых карликов типа М, то совершенно неясно, возникают ли они также в Т-ассоциациях или же в других агрегатах.

С другой стороны, наблюдения собственных движений, по крайней мере в некоторых скоплениях типов В и А, показывают, что для них приближенно выполняется теорема о вириале. Это, несомненно, связано с их стационарностью. Полная энергия таких скоплений отрицательна и продолжительность их жизни исчисляется сотнями миллионов, а иногда даже и миллиардами лет. Эти скопления, несомненно, являются группами совместно возникших звезд. Однако простое сопоставление статистических данных, относящихся к скоплениям и ассоциациям, показывает, что систем с положительной энергией возникает гораздо больше, чем систем с отрицательной энергией. Поэтому любая общая теория возникновения звезд должна быть в состоянии, прежде всего, объяснить возникновение звездных групп с положительной полной энергией.

Разумно считать, что расширяющаяся ассоциация типа ассоциации вокруг  $\alpha$  Персея или Цефей II прежде занимала гораздо меньший объем, чем сейчас, и имела вид, совершенно схожий с обычными открытыми О-скоплениями. Последние, как удалось показать Маркарян [2], обычно являются системами с положительной полной энергией и, следовательно, недолговечны. После диссипации каждое О-скопление должно сравнительно недолгое время оставаться небогатой О-ассоциацией.

Что касается больших звездных ассоциаций типа ассоциации Лебедя, то они состоят из нескольких О-скоплений (ядер ассоциации) и звезд поля, которые, очевидно, являются бывшими членами уже распавшихся О-скоплений. Из всего сказанного следует, что проблема происхождения и развития О-ассоциаций сводится к проблеме происхождения и развития О-скоплений, обладающих положительной энергией. Диаметры О-скоплений обычно заключены между 2 и 10 парсеками. Тот факт, что их полная энергия положительна, делает вероят-

ным допущение о том, что даже на этой, сравнительно ранней стадии развития члены этих звездных групп расходятся. Следовательно, это означает, что в момент возникновения диаметры этих групп были еще меньше, порядка 1—2 парсеков или даже меньше.

Встает вопрос, как могла возникнуть расширяющаяся звездная группа с диаметром порядка 2 парсеков? Не могла ли она возникнуть непосредственно из диффузного вещества, т. е. из туманности в результате появления в последней нескольких центров гравитационной конденсации? Если причиной появления такой конденсации является гравитационная неустойчивость, то ответ на поставленный вопрос должен быть отрицательным, так как группа, возникшая в результате гравитационной неустойчивости, должна иметь отрицательную полную энергию.

Возможно, однако, что хотя энергия такой звездной группы отрицательна, она начинает диссипировать под действием механизма взаимных сближений. Однако в диссипирующей системе, с диаметром порядка 2 парсеков и с массой порядка  $500 M_{\odot}$ , скорость ухода звезд из системы должна быть порядка 1 км/сек, а время распада—до 100 миллионов лет. Этот результат не соответствует наблюдаемым скоростям в расширяющихся скоплениях (например, IC 2602).

Таким образом, единственная остающаяся возможность—допустить, что скопления с диаметром порядка 2 парсеков возникли вследствие простого расширения одной или нескольких групп еще меньшего диаметра.

Нам известны такие тесные группы, диаметры которых порядка 0,1 парсека. Таковы кратные системы типа Трапедии Ориона. Многие кратные системы этого типа часто содержатся в O-скоплениях. Так, например, кратная система типа Трапедии ADS 13626 принадлежит IC 4996, которое является O-скоплением. Сама Трапедия Ориона также принадлежит открытому скоплению. Некоторые скопления содержат по две системы типа Трапедии (см. Атлас открытых звездных скоплений Бюраканской астрофизической обсерватории, 1952)\*.

\* Б. Е. Маркарян, Атлас открытых звездных скоплений различных типов, АН СССР, Москва, 1952.

У нас нет никаких оснований предполагать, что у всех систем типа Трапеции полная энергия отрицательна. Но даже в случае, когда эта энергия отрицательна, такая система должна иметь крайне малую продолжительность жизни, порядка 1 млн. лет. Под влиянием процессов обмена энергиями при взаимных сближениях составляющие Трапеции должны последовательно приобретать большие кинетические энергии и уходить из нее, как это обычно происходит в каждом скоплении. Но в то время, как в обычных скоплениях этот процесс происходит медленно, в системах типа Трапеции он должен приводить к диссипации системы за время около 1 млн. лет. При этом скорость вылета может достигнуть нескольких километров в секунду. Поэтому весьма вероятно, что О-скопления на самом деле образуются из таких более компактных групп.

Кратковременность жизни таких компактных групп типа Трапеции указывает на то, что они сами должны были образоваться в сравнительно короткий срок из каких-то иных объектов, обладающих другими физическими свойствами.

В связи с этим можно выдвинуть три предположения.

а. Компактная система типа Трапеции возникает непосредственно в результате гравитационной неустойчивости некоторой плотной туманности.

б. Вследствие гравитационной неустойчивости в туманности возникает сначала одно сгущение большой массы, которое затем вследствие неустойчивости разделяется на несколько частей.

в. Система возникла из тела, отличающегося по природе от обычных туманностей и звезд. В этом случае тело должно было бы иметь очень большую массу. Так как все известные большие массы вещества (порядка массы Солнца и больше) обычно составляют звезды или туманности, то следует допустить, что это дозвездное состояние вещества должно иметь несколько необычные свойства. Это могло бы быть, например, если бы дозвездное вещество обладало сверхвысокой плотностью. В результате распада (дробления) первоначально возникшие отдельные тела—вновь сформированные звезды—приобретали значительные кинетические энергии.

Объект, из которого формируется звездная группа, мы будем называть протозвездой. Согласно приведенному выше



В. А. Амбарцумян с президентом Академии наук Венгрии  
Иштваном Русняком



обсуждению, это должны быть либо диффузная масса крайне малого объема, диаметром менее 0,1 парсека, либо плотное или даже сверхплотное тело. Во втором случае, который представляется нам более вероятным, мы должны принять во внимание, что в отличие от звезд-протозвезд не излучают заметного количества энергии, по крайней мере в видимой части спектра. Это означает, что они сильно отклоняются от соотношения масса—светимость. Поэтому вещество в дозвездном состоянии обладает совершенно иными свойствами, чем обычное звездное вещество.

Все приведенные выше представления, относящиеся к возникновению расширяющихся звездных групп, состоят в соответствии и даже находят подтверждение в работах Шайна и Газе о диффузных туманностях периферической формы [3]. Некоторые из этих туманностей, например волокнистая туманность NGC 6960—6992 в Лебеде, показывают прямые признаки расширения. Другие, например большая диффузная туманность вокруг О-скопления NGC 2244 или большая туманность на фотографии № 1 Атласа туманностей Крымской астрофизической обсерватории\*, имеют такую форму, что их расширение из гораздо меньшего объема является совершенно очевидным и естественным объяснением. В последних двух случаях периферические туманности расположены достаточно симметрично вокруг групп горячих гигантов. Это позволяет допустить одновременное расширение звездной группы и связанной с ней диффузной туманности.

Поэтому Шайн и Газе склоняются к естественному выводу о том, что такие случаи представляют собой примеры совместного возникновения звездной группы вместе с диффузной туманностью.

Уже было указано, что некоторое число больших О-ассоциаций содержит несколько звездных скоплений и, кроме того, звезды поля, которые могут быть рассмотрены как результат распада ранее существовавших скоплений. Таким образом, большие звездные ассоциации представляют собой результат распада нескольких протозвезд. Таковы большие ассоциации в Орионе и Лебеде. Такие большие О-ассоциации содержат несколько диффузных туманностей, часто обособ-

\* Г. А. Шайн, В. Ф. Газе, Атлас диффузных газовых туманностей, АН СССР, Москва, 1952.

ленных друг от друга. Очевидно, нужно считать, что они возникли совместно с разными звездными группами из различных протозвезд и в разное время.

Следует обратить внимание также на крайне большое разнообразие характера связи между диффузными туманностями и молодыми звездными группами. Существуют группы молодых звезд, которые не связаны с диффузными туманностями сколько-нибудь значительной яркости. В качестве примера можно отметить звездную ассоциацию вокруг  $\chi$  и  $h$  Персея. Хорошо известно также существование диффузных туманностей (обычно считающихся пылевыми, но на самом деле содержащих, кроме пыли, также газ), которые не связаны с какими-либо группами горячих звезд. Большинство новых данных, накопленных в последнее время, указывает на то, что такие туманности часто связаны с более или менее компактными Т-ассоциациями. Можно допустить, что в некоторых случаях в результате распада протозвезды возникает только звездная группа, в некоторых других случаях—только туманность, хотя обычно имеет место возникновение звездной группы вместе с диффузной туманностью.

С аналогичным положением мы встречаемся и в вопросе о совместном или раздельном возникновении групп горячих гигантов и групп звезд типа Т Тельца. Нет сомнений, что группы звезд типа Т Тельца вокруг Трапеции Ориона и вокруг S Единорога образовались совместно с соответствующими группами гигантов. Тем не менее, наблюдаются также группы звезд типа Т Тельца, не связанные с гигантами. В качестве примера можно привести Т-ассоциацию в созвездии Тельца.

Очевидно, возможны также различные случаи, когда возникновение группы гигантов не сопровождается образованием карликов типа Т Тельца.

Рассмотрим с отмеченной выше точки зрения один факт, относящийся к ассоциации Персей II, расположенной вокруг  $\zeta$  Персея. Как показал Блаау, эта ассоциация состоит из одной расширяющейся группы горячих гигантов. Однако она содержит также протяженные массы диффузного вещества. Интересно отметить, что небольшое звездное скопление, проектирующееся недалеко от  $\zeta$  Персея, глубоко погружено в эти диффузные массы. Кажется естественным допустить, что звезды этого скопления возникли в результате сгущения окружающего диффузного вещества. Похоже на то, что в этом

случае мы имеем прямое доказательство образования звезд из диффузной туманности. Однако возможна также совершенно иная интерпретация. Именно, можно допустить, что диффузная туманность и скопление около  $\alpha$  Персея возникли в разное время в той же самой ассоциации Персей II в результате распада двух различных протозвезд.

Поскольку весьма вероятно, что вещество протозвезд находится в условиях, отличных от состояния вещества в звездах, мы пока не в состоянии проследить теоретический процесс возникновения звездных групп и диффузных туманностей. Но нам кажется, что дальнейшее изучение наблюдательных данных, относящихся к звездным ассоциациям и диффузным туманностям, может оказать большую помощь в изучении физической природы протозвезд.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Амбарцумян. Вводный доклад на симпозиуме по эволюции звезд в Риме, АН СССР, Москва, 1952.
2. Б. Е. Маркарян. Сообщ. Бюраканской обс., 5, 31, 1950; 11, 19, 1953.
3. Г. А. Шайн, В. Ф. Газе. Астрон. ж., 30, 135, 1953.

#### ОБСУЖДЕНИЕ

*Фон Хёрнер.* Предложил ли проф. Амбарцумян механизм сгущения или возникновения (творения) начального пластного облака? Ибо я думаю, что труднее представить себе, как межзвездное вещество образует очень плотное облако, чем указать, как оно дальше сгустится в звезды.

*Курганов.* Нет, Амбарцумян не указывает ни одного физического механизма, относящегося к возникновению протозвезд. Между прочим, Амбарцумян не говорит, что протозвезды происходят при сгущении межзвездного вещества.

*Шацман.* В дискуссии на Римском съезде (Proceedings of the I. A. U.) \* Амбарцумян привел очень неопределенные соображения о состоянии дозвездного вещества.

\* Речь идет о Вводном докладе В. А. Амбарцумяна на симпозиуме по эволюции звезд на VIII съезде МАС в Риме, в 1952 г. (см. стр. 15 настоящего сборника).

*Курганов.* Амбарцумян всегда был очень сдержан в высказываниях относительно физической природы протозвезд и их роли в звездной эволюции. В сообщении, представленном на Льежский коллоквиум, он идет в этом отношении гораздо дальше, чем во всех своих предыдущих сообщениях.

*Грэттон.* Я хотел бы знать, каким образом Амбарцумян получил полное число ассоциаций в нашей Галактике. Очень малое изменение в начальных допущениях может легко изменить полученное число в 10 или даже в 100 раз.

*Курганов.* Амбарцумян считает, что в настоящее время еще трудно точно оценить число ассоциаций в Галактике. Однако О-ассоциации, содержащие сверхгиганты, видимые на расстоянии порядка 2 000—3 000 парсеков, должны быть, большей частью, доступными для наблюдений. Число известных в настоящее время О-ассоциаций составляет несколько десятков (19 реальных и 6 «возможных», по сообщению Маркаряна, 1952 г.)\*. Амбарцумян заключает отсюда, что можно считать, что полное число О-ассоциаций примерно порядка 100.

Что касается Т-ассоциаций, то Холопов, другой ученик Амбарцумяна, считает, что на небольших расстояниях (их не видно далеко) в среднем имеется одна Т-ассоциация в «круге» с радиусом порядка 100 парсеков. Из этого Амбарцумян заключает, что их число должно быть порядка 1000. Мы видим, что здесь речь идет о почти качественных, в духе Амбарцумяна, оценках, которые, между прочим, являются в настоящее время единственно возможными.

*Грэттон.* В работах Амбарцумяна я не вижу ни одной ссылки на весьма замечательные наблюдения Фесенкова и Рожковского, касающиеся звезд, включенных в волокна туманностей. Великолепные репродукции их снимков в «Астрономическом журнале» произвели на меня сильное впечатление.

—По этому поводу *Курганов* и *Шацман* заметили, что новые наблюдения Ференбака на обсерватории Верхний Прованс заставляют несколько усомниться в интерпретации Фесенкова и Рожковского.

---

\* См. сноску на стр. 21.

*Примечание.* В этом докладе В. А. Амбарцумян анализирует имеющиеся наблюдательные данные о связи звездных ассоциаций с диффузными туманностями с точки зрения их соответствия с выдвинутым им в теории звездных ассоциаций представлением о совместном возникновении звезд и туманностей из космических тел, отличающихся по природе от обычных туманностей и звезд. Эти гипотетические тела, названные В. А. Амбарцумяном протозвездами, по его мнению, имеют крайне малые размеры, не излучают заметного количества энергии, а составляющее их вещество обладает совершенно иными свойствами, чем обычное звездное вещество.

Доклад В. А. Амбарцумяна был представлен заочно, и поэтому он не смог принять участия в дискуссии.

## О КОМЕТООБРАЗНЫХ ТУМАННОСТЯХ\*

В этом сообщении упоминается о некоторых результатах недавней работы, относящейся к природе непрерывной эмиссии, наблюдаемой в спектрах некоторых звезд типа Т Тельца и во время вспышек звезд типа UV Кита. Как хорошо известно, эта непрерывная эмиссия вызывает завуалирование линий поглощения в спектрах звезд типа Т Тельца. Наши результаты тесно связаны с вопросом происхождения свечения кометообразных туманностей.

1. Наблюдательные данные о непрерывной эмиссии звезд типа Т Тельца и UV Кита наводят на мысль о том, что эта эмиссия нетеплового происхождения. С другой стороны, количество энергии, освобождаемой во время каждой вспышки звезд типов UV Кита и Т Тельца, при максимальной яркости настолько огромно, что мы не можем объяснить эти вспышки только на основе процессов обмена энергии внутри атмосферы данной звезды. Очевидно, они вызваны переносом значительного количества внутризвездной энергии во внешние слои звезды. Этот перенос отличается от обычного переноса, обусловленного теплопроводностью или излучением. Единственно возможное объяснение, которое мы можем предложить в настоящее время, следующее: некоторое количество источников звездной энергии переносится из внутренних слоев звезды в атмосферу и даже, может быть, за пределы атмосферы. Это количество внутренней энергии во внешних слоях звезды преобразуется в энергию излучения и после этого испускается в виде непрерывной эмиссии, завуалирующей линии поглощения.

---

\* On Comet-like Nebulae. Сообщение на шестом Льежском международном коллоквиуме (Пыль в астрономических объектах), 15—17 июля 1954 г. Опубликовано в трудах коллоквиума: *Les particules solides dans les astres*, Coïnte-Liège, 1955, p. 458.

или в виде энергии ионизации и возбуждения, вызывающей появление ярких линий.

2. Допущение, что эмиссия кометообразных туманностей (объектов, связанных со звездами типа Т Тельца) во всех случаях состоит из отраженного звездного излучения, встречает непреодолимые трудности. Наиболее поразительный пример несоответствия между яркостью туманности и светимостью погруженной звезды был изучен Струве и Свингсом. Это кометообразная туманность В10, связанная с переменной звездой DD Тельца, типа Т Тельца. Вышеупомянутые авторы показали, что для того, чтобы свечение этой туманности было бы результатом отраженного излучения от DD Тельца, последняя должна быть на 7 звездных величин ярче, чем наблюдается в действительности. Следует заметить, что в спектре DD Тельца наблюдается сильная непрерывная эмиссия. Второй факт, противоречащий гипотезе простого отражения, состоит в отсутствии прямой зависимости между изменениями яркости кометообразных туманностей и погруженных звезд. Как пример, можно привести саму звезду Т Тельца и переменные туманности, открытые Хиндом (NGC 1555) и О. В. Струве в Пулкове (NGC 1554). Это явление отчетливо присутствует и в случае других кометообразных туманностей.

Тот факт, что все известные кометообразные туманности связаны со звездами типа Т Тельца, приводит нас к допущению, что мы сталкиваемся с тем же явлением непрерывной эмиссии. Это означает, что выброшенное из внутренних слоев звезды вещество, переносящее внутризвездную энергию, достигает в определенных случаях туманности, где энергия преобразуется в видимое излучение.

3. Количество внутризвездной энергии в туманности требуется для своего распространения больше времени (обычно несколько лет), чем нужно для подобных процессов в звездных атмосферах. Это еще раз доказывает, что время, в течение которого выделенная энергия излучается, зависит от условий в данном объеме пространства.

4. Большая часть известных кометарных туманностей расположена в пределах темных туманностей еще больших размеров. Так, например, туманность Хинда, туманность В10 и некоторые другие расположены в темном облаке Тельца.

Они физически связаны с членами Т-ассоциации в Тельце. Кажется, они образуют некоторый вид включений в темном облаке Тельца.

Ряд диффузных туманностей с непрерывными спектрами содержит значительное количество звезд типа Т Тельца. В этих случаях мы говорим, что туманность связана с Т-ассоциацией. Совершенно естественно полагать, что в этом случае некоторые звезды типа Т Тельца могут быть погружены в маленькие кометообразные туманности и вызывают свечение последних.

Но очевидно, что обнаружение маленьких кометообразных туманностей в пределах больших ярких диффузных туманностей намного труднее, чем их обнаружение в пределах темных туманностей. Тем не менее, имеются данные, свидетельствующие о том, что в некоторых ярких диффузных туманностях мы имеем кометообразные включения, которые связаны со звездами, погруженными в эти туманности.

Статья Аро, посвященная звездам типа Т Тельца, связанным с туманностью Ориона, приводит некоторые факты, которые подтверждают это заключение. Объекты 7a, 8a и 13a из его списка являются кометообразными туманностями с непрерывным спектром. Свечение этих объектов не может быть объяснено отражением излучения этих звезд. Оно не может быть также объяснено отражением света, испускаемого звездами Трапеции Ориона.

Можно заключить, что в этом случае опять мы встречаемся с явлением непрерывной эмиссии. Можно показать, что некоторые другие диффузные туманности также содержат кометообразные объекты.

Один из ярких примеров кометообразных включений находится в диффузной туманности IC 405, где возбуждающей звездой является AE Возничего. На фотографиях, полученных Г. А. Шайном и В. Ф. Газе на Крымской обсерватории, можно видеть, что в линии  $H_{\alpha}$  и в синих лучах туманность IC 405 имеет совершенно различные структуры.

В синих лучах мы наблюдаем сильное течение или струю, которая кажется выброшенной из AE Возничего. Из-за наличия этой струи и Вольф назвал AE Возничего пылающей звездой. Как показано Блаау и Морганом, сама эта звезда с большой скоростью выброшена из ассоциации Ориона.

Присутствие струи в синих лучах является свидетельством в пользу сильного непрерывного излучения из этой части туманности. Это говорит о том, что выброс той же природы, что и кометообразные туманности.

### О Б С У Ж Д Е Н И Е

*Свингс.* Проверено ли, что излучение, испускаемое кометарными туманностями, не может быть обусловлено люминесценцией, вызванной действием ультрафиолетового излучения возбуждающих звезд на твердые частицы туманностей?

*Амбарцумян.* Я думаю, что яркость кометарных туманностей обычно такая большая, что невозможно объяснить их излучение каким-либо механизмом люминесценции твердых частиц под влиянием поля звездного излучения.

*Гюттлер.* Если проф. Свингс пожелал бы принять, что непрерывная эмиссия кометарных туманностей, показанная проф. Амбарцумяном, вызвана твердыми частицами, это очень хорошо соответствовало бы одной идее, высказанной ранее, в 1948 г. проф. Шоенбергом в Баварской Академии наук. Там обращено внимание на роль давления излучения на пылевые частицы в формировании темных облаков кометарной формы, которые мы часто наблюдаем в Млечном Пути.

*Герцберг.* Рекомбинация  $H + H^+ \rightarrow H_2^+ + h\nu$  вызывает появление непрерывного спектра. Был ли изучен вопрос о том, что этот континуум может сделать вклад в наблюдаемый континуум диффузных туманностей?

*Ван де Хюлст.* Недавно д-р Холл показал мне свои измерения поляризации туманности Ориона, которые ясно доказывали существование компонента электронного рассеяния в непрерывном излучении этой туманности.

*Оорт.* В Голландии мы наблюдали некоторые детали туманностей в Тельце. Сравнение излучения на 21 см, полученного из двух областей исключительно сильного поглощения, с таковыми в области сравнения на той же широте показало, что эти два очень плотные облака не дали наблюдаемого

излучения, превосходящего излучение обычной среды на этих долготах. Если водородные атомы были бы концентрированы в этих облаках пропорционально пылевым частицам, они вызвали бы очень сильное излучение. Этот результат не обязательно означает различие в распределении пыли и газа. Нам кажется более вероятным, что это обусловлено образованием молекул  $H_2$  в плотнейших облаках или значительным снижением температуры.

*Стриве.* У меня один вопрос и одно замечание.

1. Оказала ли на проф. Амбарцумяна впечатление главным образом переменность света звезд типа Т Тельца и является ли это основной причиной для выдвижения его новой теории свечения этих объектов?

2. Я хотел бы обратить его внимание на маленькую туманность В14 также в Тельце и недалеко от объекта В10, который он обсудил. Туманность В14 может быть даже более интересным объектом, потому что ее центральная звезда, если там таковая имеется, настолько слаба, что она не вышла в Атласе Барнарда.

*Примечание.* Представление о тесной связи свечения кометарных туманностей с внутризвездными источниками энергии связанных с ними нестационарных звезд впервые было выдвинуто в работе В. А. Амбарцумяна, посвященной явлению непрерывной эмиссии, наблюдаемой в спектрах некоторых нестационарных звезд (см следующий доклад в настоящем сборнике и примечание к нему).

## ЗВЕЗДЫ ТИПОВ Т ТЕЛЬЦА И UV КИТА И ЯВЛЕНИЕ НЕПРЕРЫВНОЙ ЭМИССИИ\*

За последние годы наши знания о звездах типа Т Тельца и UV Кита значительно расширились благодаря накоплению большого количества фактических данных. В результате мы имеем возможность в настоящее время построить некоторые предположения, касающиеся причин нестационарности этих звезд, исходя из наблюдательных данных. Такой подход к решению вопроса резко отличается от того, который до сих пор применялся при попытках построения теории переменных звезд той или иной категории. Обычно до сих пор шли по пути построения моделей. Само собой разумеется, что мы не исключаем возможности решения проблемы на основе какой-либо теоретической модели.

Однако физические явления, наблюдаемые в звездах указанных типов, настолько необычны, что прежде всего необходимо составить представление о самой природе этих явлений и их взаимной связи. Только после этого может идти речь о подробной математической разработке какой-либо определенной модели.

Поэтому мы позволим себе сопоставить некоторые относящиеся к звездам указанных двух типов факты, которые кажутся нам существенными для выяснения природы их переменности.

Звезды типа Т Тельца интересны тем, что они встречаются группами, составляя ассоциации. Эти ассоциации были на-

---

\* Stars of T Tauri and UV Ceti Types and the Phenomenon of Continuous Emission. Доклад на симпозиуме по нестационарным звездам на IX съезде МАС в Дублине, 1 сентября 1955 г. Опубликован в трудах симпозиума: Non-Stable Stars, University Press, Cambridge, 1957, p. 177. Здесь печатается по русскому тексту: К симпозиуму по нестационарным звездам. К IX съезду МАС, АН СССР, Москва, 1955, стр. 5.

ми в свое время названы Т-ассоциациями. Это название впоследствии себя оправдало. Оказалось, что между Т-ассоциациями и обычными О-ассоциациями существует связь, выражающаяся прежде всего в том, что некоторые О-ассоциации содержат в своем объеме значительное число переменных типа Т Тельца и поэтому одновременно являются Т-ассоциациями. Очень большое количество звезд типа Т Тельца содержится, например, в ассоциации Ориона, о чем свидетельствуют работы Паренаго и Аро, в ассоциациях Единорог I и Персей II, исследованных с этой точки зрения Хербигом.

Особенного внимания заслуживает присутствие звезд типа Т Тельца в ассоциации Персей II, которая, согласно Блау, представляет собой расходящуюся группу горячих звезд. Поскольку молодость этой группы может считаться установленной, то естественно полагать, что и звезды типа Т Тельца являются молодыми объектами.

Мы не будем останавливаться здесь на других аргументах, свидетельствующих о молодости звезд типа Т Тельца. Упомянем лишь вкратце о возможном альтернативном представлении, согласно которому звезды типа Т Тельца являются обычными карликами, случайно попавшими в пылевое облако. Это представление возникло в связи с тем, что звезды типа Т Тельца действительно весьма часто встречаются в темных или светлых диффузных туманностях.

В работе Холопова было впервые показано, что в Т-ассоциации Тельца члены ассоциации расположены небольшими, сравнительно компактными группами, причем плотность некоторых из этих групп столь велика, что превосходит парциальную плотность карликов соответствующих светимостей в окружающем звездном поле. Этот факт противоречит представлению о случайно заходящих в туманность обычных карликах. Впоследствии Хербиг показал, что в ассоциации Единорог I мы наблюдаем еще более плотные группировки звезд типа Т Тельца. Таким образом, следует отказаться от гипотезы о случайно зашедших в туманность карликах и признать, что звезды типа Т Тельца, составляющие данную группу, имеют общее происхождение.

С другой стороны, поскольку большая часть звезд типа Т Тельца находится в диффузных туманностях, следует считать, что эти звезды успевают терять характеристики Т Тельца уже до того, как туманность рассеивается или они уходят из

туманности. Принимая во внимание, что по современным представлениям диффузные туманности, как нестационарные образования, должны иметь возраст порядка 1—2 миллионов лет, мы должны заключить, что звезды типа Т Тельца не могут быть старше 1—2 миллионов лет. Поэтому наблюдаемые особенности звезд типа Т Тельца следует считать связанными с внутренними свойствами этих молодых объектов.

Известные нам представители звезд типа UV Кита находятся в ближайших окрестностях Солнца, так как вследствие низкой светимости нам трудно наблюдать их на больших расстояниях. Поэтому предположение о существовании связанной с ними туманности равносильно предположению о том, что Солнце находится внутри некоторой диффузной туманности. Если мы примем это предположение, то нужно будет допустить, что плотность этой туманности ничтожна или, в всяком случае, настолько мала, что не оказывает никакого воздействия на спектральные особенности Солнца. Тем меньше должно быть это воздействие на быстро движущиеся через туманность слабые карлики типа М. Поэтому не может быть и речи о возникновении ярких линий в их спектрах, а особенности вспышек в результате такого воздействия.

Таким образом, как в случае звезд типа Т Тельца, так и в случае звезд типа UV Кита переменность звезд и сопровождающие ее спектральные особенности являются свойствами, связанными с внутренними закономерностями развития этих объектов.

*Непрерывная эмиссия.* Наиболее важной чертой, объединяющей рассматриваемые два класса переменных звезд, является непрерывная эмиссия. У звезды UV Кита непрерывная эмиссия наблюдается, согласно Джою, во время ее вспышек, а у звезд типа Т Тельца появляется на различных этапах изменения их блеска.

Более полутора лет назад, когда мы впервые пришли к выводу об общности причин, вызывающих непрерывную эмиссию в звездах Т Тельца и UV Кита, нам не были еще известны результаты Аро и его сотрудников, относящиеся к быстрым переменным в туманности Ориона и в других ассоциациях. Открытие мексиканскими учеными быстрых переменных в Т-ассоциациях перекинуло мост между звездами типа UV Кита и Т Тельца и показало, что как оба рассматриваемых

класса переменных звезд, так и класс быстрых переменных являются разновидностями одного широкого семейства переменных карликов. При этом важнейшим свойством, объединяющим все это семейство, является появление время от времени непрерывной эмиссии. Вот почему физическое истолкование процессов, происходящих в атмосферах этих переменных, тесно связано с пониманием причин и сущности процесса непрерывной эмиссии.

Благодаря тому, что у различных звезд непрерывная эмиссия проявляется в разной форме, т. е. имеет различную продолжительность и различную интенсивность, оказывается возможным исключить целый ряд гипотез о природе непрерывной эмиссии и тем самым приблизиться к пониманию характера этого явления, основываясь на известных эмпирических данных.

Тот факт, что во время вспышек звезд типа UV Кита непрерывная эмиссия достигает большой интенсивности, заставляет считать, что само приращение яркости в этих случаях происходит главным образом за счет непрерывной эмиссии. Поэтому вопрос о причине увеличения блеска, по крайней мере иногда, совпадает с вопросом о причинах непрерывной эмиссии.

В случае, если увеличение блеска связано с тепловым излучением, оно должно являться следствием либо повышения температуры, либо увеличения радиуса звезды.

Однако известны случаи, когда возрастание яркости происходило буквально за несколько секунд. Так, во время вспышки UV Кита 24 октября 1952 г. за семь секунд яркость звездной пары, куда входит UV Кита, возросла более чем на 1.6 звездной величины. Это значит, что светимость увеличилась более чем в четыре раза. Если увеличение светимости объяснить изменением площади, то это означало бы, что за семь секунд радиус звезды, по меньшей мере, удвоился. Для этого нужно было бы, чтобы поверхностные слои расширялись со скоростью 50 000 км/сек или больше, что совершенно исключается, поскольку одновременно наблюдаемые яркие линии не показывают сколько-нибудь значительного доплеровского смещения. Остается предположение, что непрерывная эмиссия связана со значительным повышением температуры внешних слоев. Нельзя отрицать возможность некоторого повышения температуры атмосферы звезды в результате появ-

ления непрерывной эмиссии. Но мы говорим здесь не об этом, а о возможности появления самой непрерывной эмиссии как следствия повышения температуры внешних слоев.

Возможны при этом два случая: 1) Повышение температуры является следствием увеличения потока излучения, идущего из внутренних слоев. В этом случае должно иметь место повышение температуры не только в атмосфере, но и в более глубоких слоях. Но тогда уменьшение потока излучения будет возможно лишь после того, как остынут эти более глубокие слои. По условиям переноса излучения во внешних слоях для этого потребуются, по крайней мере, часы. Между тем упомянутая выше вспышка звезды UV Кита 24 октября 1952 г. продолжалась, включая и нисходящую ветвь кривой блеска, всего две минуты. Поэтому мы должны отказаться от гипотезы о нагревании атмосферы в результате увеличения потока излучения, идущего из внутренних слоев. 2) Повышение температуры внешних слоев является следствием освобождения энергии в этих же слоях. При этом возможны два варианта: а) выделение тепла во внешних слоях происходит за счет энергии какого-либо механического движения, распространяющегося из внутренних слоев наружу, и б) оно происходит за счет каких-то других источников энергии. Если осуществляется вариант (а), то мы должны иметь нечто вроде взрывной волны, охватывающей всю звезду или некоторую область на ней. В этом случае явление всегда должно быть кратковременным, т. е. превращение энергии волны в тепло во внешних слоях, а следовательно, и выделение непрерывной эмиссии должно быть весьма непродолжительным. Однако особенность явления непрерывной эмиссии заключается как раз в том, что, будучи весьма кратковременным в случае вспышек звезд типа UV Кита, оно наблюдается годами у некоторых звезд типа Т Тельца, в частности у DD Тельца и BD +67°922\*. Таким образом, от варианта (а) следует отказаться, т. е. нужно предположить, что выделение непрерывной эмиссии происходит за счет других запасов энергии, освобождающихся в атмосфере звезды. Поскольку полная сумма тепловой и других видов энергии, находящихся в данный момент в тех наружных слоях атмосферы, где происходит выделение

\* Переменная звезда AG Дракона.

непрерывной эмиссии, очень мала, мы должны допустить, что источники энергии этого излучения выносятся из более глубоких слоев и только затем освобождаются во внешних слоях.

Этот вариант является, по-видимому, единственным, который прямо не противоречит наблюдениям. При этом совершенно естественно, что если в самых наружных слоях атмосферы происходит быстрое или длительное освобождение энергии каких-то, пока нам неизвестных источников, то в силу прозрачности этих слоев к непрерывному спектру выделяемая энергия может излучаться, не успев в большей своей части превратиться в тепло, т. е. не успев значительно повлиять на среднюю кинетическую энергию частиц соответствующих слоев атмосферы. Вот почему возникающее дополнительное излучение должно резко отличаться по своему характеру от теплового, т. е. должно быть *нетепловым излучением*.

Встает вопрос о том, каковы потенциальные источники энергии, которые переносятся из внутренних слоев во внешние и там дают начало непрерывной эмиссии. Принимая во внимание, что у некоторых звезд наблюдается в течение длительного времени непрерывная эмиссия величины того же порядка, что и все тепловое излучение звезды, естественно допустить, что эти потенциальные источники имеют ту же природу, что и внутренние источники звездной энергии, т. е. связаны с какими-то ядерными процессами. Трудно в настоящее время сказать что-нибудь вполне определенное об этих ядерных процессах. Вероятнее всего, что это процессы атомного распада, происходящие, однако, не с микроскопическими атомными ядрами обычного типа, а с ядерными образованиями макроскопических масштабов, т. е. с такими объектами, которые нам были до сих пор неизвестны.

В случае звезд типа Т Тельца картина изменений обычно более сложна, чем в случае звезд типа UV Кита. Наряду с меняющейся по своей интенсивности непрерывной эмиссией, мы наблюдаем здесь также изменения цветовой температуры, влекущие за собой изменения интенсивности получаемого нами температурного излучения. Кроме того, на указанные изменения двух родов накладываются также изменения интенсивностей эмиссионных линий.

Для объяснения этого сложного комплекса явлений следует допустить, как это было сделано в нашей работе, опубликованной в «Сообщениях Бюраканской обсерватории» № 13,

что освобождение выносимых из внутренних слоев источников энергии может происходить в различных слоях наружной оболочки звезды. Если энергия освобождается под фотосферическими слоями, то мы будем иметь дополнительный поток *теплового* излучения, проходящий через фотосферу, и менее резкие изменения яркости, а если она освобождается над фотосферными слоями, то мы должны иметь усиление непрерывной эмиссии и резкие изменения яркости. Интересно, что, по крайней мере, в некоторых случаях усиление непрерывной эмиссии у звезд типа Т Тельца происходит внезапно, хотя длительность максимума непрерывной эмиссии может быть велика. В промежуточном случае, когда освобождение энергии происходит в самих фотосферических слоях, мы должны иметь как возрастание температурного излучения, так и непрерывную эмиссию с накладывающимися на нее, однако, линиями поглощения. Очевидно, что в этом случае будет труднее отличить на практике непрерывную эмиссию от температурной. Наконец, заметим, что, в зависимости от глубины явления, будет меняться также спектр ярких линий.

Я не буду останавливаться здесь подробно на связи явления непрерывной эмиссии со свечением кометообразных туманностей. Относящиеся к этому данные были сообщены в прошлом году на симпозиуме в Льеже\*. Мне хотелось бы лишь подчеркнуть то, что в некоторых случаях значительная часть свечения кометообразной туманности может быть объяснена отражением света переменной, в то время как в других случаях явление отражения света переменной не играет почти никакой роли и свечение туманности следует приписать непрерывной эмиссии, происходящей в результате непосредственного освобождения энергии в самой туманности.

Мне кажется, что для более ясного понимания процессов, происходящих в звездах типа Т Тельца, крайне важно изучение тех случаев, когда те или иные стороны этих процессов выражены наиболее резко. Иными словами, имеет смысл обратиться к подробному изучению некоторых подтипов этого класса переменных звезд.

Я позволю себе остановиться на четырех разновидностях указанных объектов. При этом не преследуются цели класси-

\* См. стр. 54 настоящего сборника.

фикации, а выделяются эти разновидности лишь для того, чтобы подчеркнуть необходимость детального изучения тех объектов, у которых отдельные стороны явления непрерывной эмиссии выражены особенно резко.

*Первая разновидность.* Это объекты типа Т Тельца, которые входят в Т-ассоциации и имеют длительную и особенно интенсивную непрерывную эмиссию. При этом, вследствие своеобразного распределения энергии непрерывной эмиссии по частотам, ультрафиолетовая часть спектра весьма интенсивна.

Наиболее характерными представителями этой разновидности являются: звезда DD Тельца, изученная Струве и Свингсом, и звезда LH<sub>2</sub> 61, обнаруженная Хербигом при исследовании ассоциации вокруг S Единорога.

Следует упомянуть, что у указанных звезд имеются еще две общие особенности. Первая из них — простираание балмеровских эмиссионных линий до весьма высоких членов. Вторая особенность — связь с кометообразными туманностями, яркость которых намного выше той максимальной яркости, которая может быть в случае отражения света звезды.

Как указывает Аро, среди переменных звезд туманности Ориона также существует некоторое количество объектов голубого цвета. Нет сомнений, что при этом голубой цвет обусловлен распределением энергии в спектре непрерывной эмиссии. Обычно в этих случаях линия H<sub>α</sub>, по его наблюдениям, имеет наиболее высокую оценку интенсивности. По-видимому, следует считать, что эти переменные по своим свойствам близки к DD Тельца и LH<sub>2</sub> 61.

Сравнительная малочисленность звезд рассматриваемой разновидности и особенно интенсивное проявление у них явлений, характерных для звезд типа Т Тельца, свидетельствуют в пользу кратковременности переживаемого ими этапа развития. Вероятно, это наиболее ранняя стадия жизни звезд типа Т Тельца.

*Вторая разновидность.* Это объекты Хербига—Аро. Они представляют собой слабые звезды, окруженные газовыми туманностями очень малого диаметра. В спектрах этих туманностей содержатся запрещенные яркие линии, соответствующие невысокой степени ионизации. Абсолютная величина цент-

ральных звезд этих объектов—около  $+9^m$ , т. е. примерно совпадает с абсолютной величиной DD Тельца. Несмотря на свою низкую абсолютную величину, ядра этих объектов являются, по данным Аро, голубыми звездами. Естественно считать, что и в этом случае голубой цвет обусловлен не температурой, а непрерывной эмиссией. Интересно, что, несмотря на их необычайную редкость, три из этих объектов, находящихся в ассоциации Ориона, расположены в виде короткой цепочки длиной в  $5'$  дуги. Это не может являться случайным совпадением и свидетельствует о крайней молодости этих объектов. Было бы весьма интересно найти подобные объекты в других ассоциациях.

*Третья разновидность.* Это быстрые переменные, открытые Аро и его сотрудниками в туманности Ориона и в Тельце. В отличие от звезд типа UV Кита, абсолютные величины этих быстрых переменных того же порядка, что и абсолютные величины других звезд типа Т Тельца. Поэтому эта разновидность занимает промежуточное положение между звездами типа UV Кита и обычными звездами типа Т Тельца, заполняя имеющуюся между ними брешь. Интересно, что у этих объектов эмиссия в спектральных линиях не интенсивна. Между тем у других объектов непрерывная эмиссия сопровождается наличием ярких линий. Поэтому представляет чрезвычайный интерес выяснение вопроса о том, связано ли в этом случае повышение яркости с увеличением непрерывной эмиссии или обусловлено увеличением теплового излучения.

У объектов этой разновидности так же, как у звезд типа UV Кита, наиболее резко выражена быстрота процесса освобождения источников энергии. Не следует, однако, думать, что в других случаях, когда явление непрерывной эмиссии протекает длительно, сам процесс освобождения энергии из ее источников также обязательно длителен. Не исключена возможность, что между освобождением энергии из ее источников и превращением ее в световые кванты непрерывного спектра имеется еще одна стадия, длительность которой может быть различной в различных случаях.

*Четвертая разновидность.* Эта разновидность пока представлена единственным, но весьма интересным представителем—переменной звездой BD+67°922 в Драконе. Наряду с

наличием интенсивной непрерывной эмиссии для этой звезды характерны следующие явления:

1. Весьма большая интенсивность эмиссионных линий водорода и особенно наличие весьма интенсивной линии ионизованного гелия  $\lambda$  4686.

2. Принадлежность к сферической составляющей Галактики, о чем свидетельствуют как большая галактическая широта ( $41^\circ$ ), так и лучевая скорость (около—140 км/сек). Звезда имеет почти такую же галактическую долготу, как и апекс движения Солнца по отношению к быстролетящим звездам. Поэтому знак наблюдаемой лучевой скорости вполне объясняется. Интересно, что лучевая скорость BD+67°922 почти совпадает с лучевой скоростью находящейся рядом с ней быстролетящей долгопериодической переменной R Дракона, имеющей период 245 дней.

На этом примере выясняется, что в сферической составляющей нашей Галактики также имеются звезды типа Т Тельца, причем наиболее важным отличием данного объекта от обычных звезд типа Т Тельца, встречающихся в ассоциациях, является наличие линий высокого возбуждения  $\text{He}^+$ .

Как указывалось выше, физической причиной процессов, происходящих в звездах типа Т Тельца, следует считать освобождение значительных порций энергии во внешних слоях этих звезд и даже в наиболее наружных частях их атмосфер. Приходится допустить, что это освобождение энергии связано с ядерными процессами. Однако эти процессы по своему характеру резко отличаются от уже известных нам процессов освобождения ядерной энергии и особенно от термоядерных реакций. Тот факт, что это освобождение происходит взрывоподобно, говорит о переносе из внутренних слоев во внешние слои масс вещества, которые находятся в ядернонеустойчивом состоянии. С другой стороны, поскольку эти явления наблюдаются у молодых звезд, естественно допустить, что выносимая масса состоит из дозвездного вещества высокой плотности, т. е. представляет собой материю в совершенно особом, нам до сих пор не известном состоянии.

Эта точка зрения вызывает, естественно, то возражение, что пытаются свести дело к доселе не известным нам физическим процессам, в то время как нельзя считать исчерпанными

все возможности объяснения рассматриваемых явлений в рамках известных закономерностей физики.

Однако следует сказать, что ни при какой степени изученности какого-либо явления мы не можем быть гарантированы в том, что нами исчерпаны все возможности объяснения этого явления на основе известных законов физики. Несмотря на это, на каком-то этапе исследования приходится делать предположение о том, что исследуемое явление, которое не удалось объяснить на основе известных законов теоретической физики, является проявлением других неизвестных нам законов. Это предположение может оказаться неправильным или правильным, однако без введения подобных предположений для объяснения неожиданных результатов физических опытов и астрофизических наблюдений прогресс в области выявления принципиально новых, более глубоких свойств материи остановится. Весь вопрос в том, является ли положение дел с фактами, относящимися к звездам типа Т Тельца, таким, чтобы оправдать риск введения подобного предположения. Нам кажется, что если учесть не только факты, относящиеся к спектроскопии и фотометрии рассматриваемых звезд, но и те факты, которые связаны с ассоциированием их в группы молодых объектов, то получается весьма много аргументов, оправдывающих наше предположение.

Другие могут быть не согласны с этим и будут еще пытаться найти решение задачи, исходя из ранее известных нам свойств материи. Нам же кажется, что этот путь уже следует оставить.

Более того, быстро растущие сведения о звездах типа Т Тельца позволяют перейти к выяснению закономерностей тех физических процессов нового типа, которыми обусловлены многие явления, происходящие в этих звездах.

В качестве приложения к статье проф. Амбарцумяна Масевич представила от его имени сообщение о некоторых новых спектрофотометрических наблюдениях BD+67°922, проведенных Мирзояном на 8" камере Шмидта Бюраканской обсерватории с объективной призмой\*.

Спектрограммы получены в январе-феврале и снова в апреле-мае 1955 года. Обе серии пластинок показывают непрерывную эмиссию в спектре BD+67°922, но имеется заметное различие между ними. В январе-феврале непрерывная эмиссия была сильная и наблюдалась от ультрафиолета

\* См. ДАН СССР, 105, 928, 1955.

до  $\lambda 4200$ . Во время второй серии наблюдений непрерывная эмиссия была слабее и продолжалась лишь до  $\lambda 3900$ . В зеленой части спектра, где преобладает нормальное тепловое излучение, не наблюдалось никакого изменения блеска. Однако в ультрафиолете изменение между этими двумя датами равнялось одной величине.

Во время наблюдений BD+67°922 изменение блеска, по-видимому, вызвано только изменением интенсивности непрерывной эмиссии. Это рассматривается как сильная поддержка положения, принятого В. А. Амбарцумяном в предшествующем докладе, а именно, что присутствие непрерывной эмиссии связано с существованием нетеплового процесса освобождения энергии в звездной атмосфере над обращаемым слоем. Действие этого процесса, по-видимому, не зависит от условий, существующих в фотосферных слоях.

Согласно Мирзояну, спектральное распределение энергии непрерывной эмиссии не может быть объяснено с помощью известных физических механизмов. Это заключение находится в хорошем согласии с очень интересными результатами, недавно полученными Хербигом и Аро.

Наконец, надо упомянуть, что интенсивность эмиссионных линий водорода в спектре BD+67°922 изменяется вместе с непрерывной эмиссией. Это означает, что, вероятно, существует сходство между BD+67°922 и голубыми звездами типа T Тельца, наблюдаемыми Хербигом в туманностях Ориона и Единорога.

## О Б С У Ж Д Е Н И Е

*Э. Шацман* заявил, что аргументы В. А. Амбарцумяна относительно происхождения нетеплового излучения звезд произвели на него очень глубокое впечатление. Он считает очень вероятным, что объяснение явлений, протекающих в звездах типов UV Кита и T Тельца, а также в переменных кометообразных туманностях, следует искать в области ядерных явлений. Затем он представил свою концепцию, согласно которой эти явления могут быть объяснены действием известных процессов гидродинамики и ядерной физики.

*Примечание.* В 1953 году В. А. Амбарцумян на основе теоретического анализа наблюдательных данных об излучении звезд типов T Тельца и UV Кита получил веские свидетельства в пользу нетепловой природы непрерывной эмиссии, наблюдаемой в спектрах некоторых звезд типа T Тельца и во время вспышек звезд типа UV Кита. Исходя из установленного им и подтвержденного многими исследователями факта молодости звезд типа T Тельца, входящих в T-ассоциацию, В. А. Амбарцумян выдвинул гипотезу о непрерывной эмиссии как излучении, вызываемом процессом выноса из внутренних слоев в поверхностные слои звезды источников внутризвездной

энергии, отличных по своей природе от известных термоядерных источников. Эти результаты были изложены в работе «Явление непрерывной эмиссии и источники звездной энергии» (Собр. Бюраканской обс., 13, 1954). Проблема нестационарных звезд с этой точки зрения была обсуждена на Бюраканском совещании по нестационарным звездам в 1956 г. (Нестационарные звезды, АН Арм. ССР, Ереван, 1957).

## НЕКОТОРЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ О КРАТНЫХ ГАЛАКТИКАХ\*

1. Процент кратных галактик среди всех галактик, составляющих данное скопление, во много раз превосходит тот процент, который должен быть при термодинамическом равновесии. Этот факт без всяких дополнительных предположений приводит к выводу о том, что в каждой кратной галактике ее составляющие имеют совместное происхождение. В этом отношении кратные галактики весьма похожи на кратные звезды, наблюдаемые нами в нашей звездной системе.

2. Исследование конфигураций кратных галактик, входящих в каталог Холмберга, показывает, что из 132 кратных галактик 87 (65%) образуют конфигурации типа Трапеции Ориона, 27 систем (20%) составляют системы обыкновенного типа. Остальные 15% составляют системы, которые можно считать промежуточными, поскольку в них отношение наибольшего расстояния к наименьшему лежит между 2.5 и 3.0.

В этом отношении совокупность кратных галактик резко отличается от совокупности кратных звезд, где подавляющее большинство систем представляет собой кратные системы обыкновенного типа.

3. Кратные галактики типа Трапеции в тех случаях, когда массы составляющих одинакового порядка между собой, должны быть неустойчивыми. Само существование подобных конфигураций делает вероятным, что знак энергии части кратных галактик положительный, т. е., что некоторые кратные

---

\* Some Remarks on Multiple Galaxies. Сообщение на симпозиуме по крупномасштабной структуре галактической системы на IX съезде IAU в Дублине, в сентябре 1955 г. Опубликовано в трудах симпозиума: *The Large-Scale Structure of the Galactic System*, University Press, Cambridge, 1958, p. 1. Русский текст был опубликован АН Арм. ССР, Ереван, 1955. Здесь печатается этот текст.

галактики представляют собой недавно возникшие и ныне расходящиеся группы. Однако это предположение должно быть подтверждено на основании каких-либо независимых данных.

4. Рассмотрение разностей  $\Delta v$ , лучевых скоростей у пар галактик, наблюдаемых Пейджем и другими, показывает, что произведение  $\rho(\Delta v)^2$ , где  $\rho$ —проекция расстояния между компонентами пары на небесную сферу, систематически выше для тех пар, которые входят в кратные системы, по сравнению с обычными двойными галактиками. Между тем, при отрицательности энергий всех систем среднее значение этого произведения должно быть пропорционально средней массе системы. Поэтому предположение об отрицательности энергий всех кратных галактик влечет за собой вывод о том, что массы составляющих кратных галактик систематически больше (и притом не менее чем в два-три раза) масс составляющих двойных галактик.

5. Этого вывода можно избежать, допустив, что часть кратных галактик имеет положительную энергию. Таким образом, получается косвенное подтверждение предположения о том, что часть кратных представляет собой расходящиеся группы.

6. Среднее значение отношения  $f = M/L$  для кратных галактик, полученное в предположении, что их энергия отрицательна, заметно превосходит максимальное значение того же отношения, полученное по вращению индивидуальных галактик, и во много раз превосходит среднее значение того же отношения для последних. Это также заставляет считать, что у части кратных галактик энергия положительна.

7. Отношение  $f$  достигает особенно больших значений для скоплений галактик. Применяя теорему вириала, мы получим для скопления в Деве  $f = 2000$ , а для скопления в *Coma*, учитывая новое значение его радиуса, данное Цвикки,  $f = 5000$  (а не  $f = 800$ , как это было получено Шварцшильдом путем внесения только таких поправок, которые могут уменьшить значение  $f$ ). Соглашаясь с существованием межгалактического вещества, мы должны считать крайне искусственным до-

пушение о том, что его масса может в десятки раз превосходить массу всех галактик и что при этом оно должно очень мало излучать. Наоборот, судя по всему, природа межгалактических образований близка к природе неправильных галактик типа Магеллановых Облаков; поэтому не исключена возможность, что именно для межгалактической материи отношение  $f$  очень мало. Гораздо естественнее сделать допущение, что *некоторые скопления галактик являются системами с положительной энергией*, т. е. представляют собой распадающиеся системы. В этом случае к ним, как к нестационарным системам, нельзя применять теорему вириала.

8. Важным свидетельством в пользу нестационарности скопления в Деве является, как отметил Маркарян, наличие в нем цепочки ярких галактик, включающей в себя, в частности, эллиптические галактики M84 и M86. Эта цепочка настолько резко выделяется на фоне всего скопления, что в ее физической значимости не может быть сомнения. Удивительным образом мы встречаем здесь аналогию между скоплениями галактик и ассоциациями, где наблюдаются цепочки горячих сверхгигантов (например, пояс Орыона).

9. Если часть кратных галактик имеет положительную энергию, то естественно допустить, что положительной энергией может обладать также некоторая часть двойных галактик. Такие двойные галактики должны представлять собою попросту две удаляющиеся друг от друга звездные системы. В таком случае возникает вопрос о возможности обнаружения таких пар на самом первоначальном этапе развития, когда компоненты только что начали удаляться друг от друга. Очевидно, что при этом могут быть случаи, когда ядро одной из галактик, составляющих пару, находится глубоко внутри другой галактики, непосредственно вблизи ее ядра. Условимся называть подобные пары сверхтесными галактиками.

10. Такими сверхтесными галактиками являются, по-видимому, радиогалактики. Можно показать на основании расчетов вероятностей, что галактика NGC 5128 (Центавр А) ни в коем случае не может представлять собой результат случайного столкновения двух ранее независимых галактик. В случае Лебедь А гипотеза столкновения также исключается на основании простых статистических соображений. Наконец, в

случае NGC 4486 (Дева А) согласно Бааде факт разделения ядра на основную массу и выброшенную материю непосредственно наблюдается. Поэтому можно считать правдоподобным предположение, что радиогалактики представляют собой результат только что происшедшего разделения первоначальных ядер.

### О Б С У Ж Д Е Н И Е

*Минковский.* Результаты детального исследования NGC 1275, доложенные на симпозиуме в Джодрелл Бэнк, не допускают других объяснений, кроме того, что эта система состоит из двух сталкивающихся галактик.

*Примечание.* Исследования В. А. Амбарцумяна по эволюции галактик являются логическим продолжением его работ по звездной космогонии. Свообразным стимулом для начала этих исследований явились работы Бааде и Минковского об открытии радиогалактик и их интерпретации как сталкивающихся галактик. Сразу же после появления этой гипотезы о природе радиогалактик им была показана ее несостоятельность и для объяснения явления радиогалактик было выдвинуто представление о существовании в мире галактик нестационарных явлений колоссальных масштабов, одним из проявлений которых является сильное радиоизлучение. Это сообщение, вместе с сообщением на Всесоюзном совещании по вопросам космогонии в 1954 г. (Труды V совещания по вопросам космогонии, АН СССР, Москва, 1956, стр. 413) открыло серию работ В. А. Амбарцумяна по нестационарным явлениям в галактиках, которым посвящена почти вся остальная часть настоящего сборника.

Новая гипотеза В. А. Амбарцумяна, объясняющая природу радиогалактик, не сразу получила признание. Она была настолько неожиданной, что сторонники гипотезы о сталкивающихся галактиках всячески старались отклонить эту гипотезу, не считая возможным даже ее обсуждение. В этом смысле характерно приведенное выступление Р. Минковского, категорически настаивающего на справедливости старой гипотезы на примере NGC 1275.

Как известно, в настоящее время NGC 1275 рассматривается как наиболее яркий пример радиогалактики, в которой связь радиоизлучения с активностью ядра прямо подтверждается многими фактами.

Сообщение В. А. Амбарцумяна было представлено заочно.

## К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЗВЕЗД В ЗВЕЗДНЫХ АССОЦИАЦИЯХ\*

Прошло уже почти десять лет с тех пор, как возникло представление о звездных ассоциациях как неустойчивых звездных системах [1]. Вся совокупность данных, добытых с тех пор с помощью наблюдений, свидетельствует о том, что звезды, входящие в ассоциации, являются молодыми объектами, возраст которых измеряется несколькими миллионами лет. Мы подчеркиваем, что это относится как к О-ассоциациям, так и к Т-ассоциациям. Известно также, что О-ассоциации, которые могли быть достаточно исследованы в этом отношении, как правило, содержат в себе звезды типа Т Тельца и, следовательно, одновременно являются Т-ассоциациями. С другой стороны, имеются Т-ассоциации, не содержащие горячих гигантов. Очевидно, однако, что механизмы образования звезд в О-ассоциациях и Т-ассоциациях должны быть сходны между собой. Это означает, что если нам удастся построить теорию возникновения звезд в ассоциациях одного типа, то эта теория должна допускать видоизменения, которые должны дать возможность объяснить возникновение звезд в ассоциациях другого типа.

До сих пор главным образом обсуждались две гипотезы, относящиеся к происхождению звездных ассоциаций. Одна из них, предложенная докладчиком в самом начале развития представлений об ассоциациях, предполагает, что звезды, составляющие некоторую расширяющуюся группу, возникли путем расширения из тела или системы, занимавших первоначальную область.

---

\* On the Problem of the Mechanism of the Origin of Stars in Stellar Associations. Доклад на третьем симпозиуме по космической газодинамике в Кембридже (США), 24—29 июня 1957 г. Опубликован в трудах симпозиума: *Reviews of Modern Physics*, 30, 944, 1958. Имеется русский перевод: *Космическая газодинамика*. ИЛ, Москва, 1960, стр. 65. Здесь печатается по оригинальной рукописи автора.

чально очень малый объем. Размеры этого объема были, во всяком случае, меньше одного парсека. Согласно этой точке зрения, эти первоначальные тела (протозвезды) либо до сих пор не наблюдались, либо же еще не отождествлены с известными нам объектами. Эта точка зрения не указывает какого-либо конкретного механизма возникновения звезд, откладывая его выяснение до того момента, когда удастся изучить наиболее ранние стадии расширения ассоциаций.

С другой стороны, в работах Оорта [2], а также Оорта и Спичера [3] был предложен очень интересный механизм воздействия излучения звезд типа O на окружающие их большие газовые облака. Этот механизм приводит к возможности превращения некоторой части энергии звездного излучения в кинетическую энергию межзвездных газовых облаков. Нам представляется, что указанный механизм действительно играет важную роль в балансе кинетической энергии межзвездного вещества. Согласно Оорту, в холодных областях III, окружающих зону III, образовавшуюся вокруг O-звезды, может возникнуть очень большое сжатие газов, которое при переходе предела гравитационной неустойчивости может привести в результате конденсации к возникновению звезд. Взгляды Оорта были изложены на втором симпозиуме по газовой динамике космических облаков, и мы не будем их здесь подробно излагать.

Представляется, однако, целесообразным проверить, насколько этот гипотетический механизм возникновения звезд ответствен за образование реальных ассоциаций. Для этого мы рассмотрим данные, относящиеся к трем большим газовым облакам, обладающим в известной степени правильной структурой. Нам кажется, что выбор именно таких облаков, обладающих квазирегулярной структурой, может быть интересен с той точки зрения, что в них взаимоотношения между звездами и диффузной материей должны быть более простыми и наглядными, чем в тех случаях, когда мы имеем совершенно неправильную структуру туманности, вследствие чего пространственные геометрические конфигурации трудно выяснить. Выбранные три большие туманности следующие: туманность вокруг NGC 2244 [4], туманность вокруг IC 1805 [5] и большое кольцо вокруг  $\lambda$  Ориона [6].

Существенно, что во всех трех случаях в центральной части туманности находится скопление звезд ранних классов.

В первых двух случаях эти скопления содержат по несколько звезд типа *O*, а в последнем—только одну. В табл. 1 приводятся угловые размеры туманности и центрального скопления.

Таблица 1

Туманность	Диаметр туманности	Диаметр ассоциации (центрального скопления)
NGC 2244	70'	25'
IC 1805	95	12
$\lambda$ Ориона	250	30

Во всех трех случаях диаметр скопления мал по сравнению с диаметром туманности. Поэтому не может быть и речи о том, что звезды скопления возникли на периферии соответствующей туманности. С другой стороны очевидно, что все звезды скопления генетически связаны с теми *O*-звездами скопления, которые возбуждают соответствующую туманность. Поскольку возраст звезд типа *O* не превышает нескольких миллионов лет, то возникает вопрос о том, чтобы объяснить возникновение скопления, имеющего возраст того же порядка.

Иными словами, приходится считаться с тем, что в недавнем прошлом в центральной области каждой из указанных систем шел интенсивный процесс звездообразования, который, возможно, продолжается и в настоящее время. Я хотел бы обратить внимание на факт, отмеченный Маркарянном еще в 1950 г. [7] и заключающийся в том, что внутри скопления IC 1805 вокруг *O*-звезды HD 15558 находится кратная система типа Трапеции, представляющая ядро скопления. Согласно более поздним данным Шарплесса [8], это ядро содержит примерно пятнадцать звезд. Как указывалось ранее нами [9], системы типа Трапеции Ориона должны быть очень молодыми образованиями. Их возраст должен быть порядка одного миллиона лет или меньше. Поэтому можно считать, что в IC 1805 и в настоящее время идет процесс звездообразования, но он происходит в центре скопления. Что же касается звездообразования на периферии указанных туманностей, то об этом мы не имеем никаких прямых данных.

С другой стороны, нам известны случаи, когда открытые скопления, содержащие звезды типа *O*, не находятся в стацио-

нарном состоянии и должны с течением времени расширяться. Так, например, прямые признаки расширения установлены Маркаряном для скопления IC 2602 [10]. Согласно последней работе Хопмана, скопление IC 4996 [11], которое имеет некоторое сходство с центральной частью скопления IC 1805, отличается очень большими внутренними движениями, свидетельствующими о его нестационарности. Не исключено, что таким же образом могут расширяться O-скопления, находящиеся в центрах рассмотренных туманностей. Очевидно, что через один или два миллиона лет эти скопления превратятся в расширяющиеся рассеянные группы, подобные ассоциации вокруг Персея. В свете этих факторов предположение о зарождении звезд расширяющихся ассоциаций в областях H I симметричных туманностей является излишним.

Таким образом, данные, полученные из наблюдений, позволяют говорить о следующей, примерно, картине: каждое из рассматриваемых образований представляет собой большую диффузную туманность или комплекс туманностей, который не может находиться в состоянии равновесия. Предположение о расширении этих туманностей является совершенно естественным и возраст их должен быть оценен в два-три миллиона лет. В центральной части каждой такой туманности находится скопление, возраст которого порядка одного-двух миллионов лет. Вместе с тем, в этом скоплении в отдельных случаях присутствуют звезды или звездные группы, возраст которых может быть меньше одного миллиона лет.

Рассматривая это положение с точки зрения космической шкалы времени, мы можем сказать, что в упомянутых выше системах туманность и скопление имеют возраст примерно одного порядка. Это делает очень вероятным, что туманность и скопление возникают совместно в едином космогоническом процессе. Причем расширение туманности несколько опережает расширение скопления. Это опережение обуславливается тем, что звезды центрального скопления возникают несколько позже. Мы не исключаем возможность того, что некоторые звезды могли возникнуть вместе с самой туманностью и даже до образования туманности и успеть к настоящему времени удалиться из центральной области. Эта возможность должна быть изучена.

Значительный интерес представляет обнаружение Менонном [12] расширяющегося облака нейтрального водорода в

районе звезды  $\gamma$  Ориона. В центральной части этого облака отсутствуют горячие звезды. Либо они уже ушли оттуда (в таком случае это были звезды АЕ Возничего,  $\mu$  Голубя и 30 Овна, имеющие тот же центр расширения), либо же они должны возникнуть там позднее. В обоих случаях подтверждается наше заключение о том, что горячие звезды и туманность возникают вообще не одновременно.

Таким образом, вместо традиционной постановки вопроса о возникновении звезд или звездных групп из туманности наблюдения приводят, как нам кажется, неизбежным образом к вопросу о совместном (хотя и не вполне одновременном) возникновении звезд и туманностей из каких-то объектов неизвестной природы.

Что касается механизма образования звезд и туманностей, то для его выяснения, как нам кажется, существует только один путь—это изучение и сравнение между собой различных групп молодых звезд. В связи с этим мне хотелось бы очень кратко остановиться на некоторых своеобразных образованиях этого рода. Я имею в виду звездные цепочки.

Вопрос о том, что звездные цепочки встречаются при изучении распределения звезд гораздо чаще, чем это должно быть по законам случая, неоднократно поднимался в литературе. Можно упомянуть здесь работы Обергуггенбергера [13], Фесенкова [14] и Мартынова. Однако здесь я имею в виду прежде всего цепочки звезд ранних типов в звездных ассоциациях и хочу обратить внимание на бесспорную реальность некоторых из этих цепочек. Приведу три примера, каждый из которых является совершенно поразительным и заслуживает специального изучения.

1. *Пояс Ориона.* Это, пожалуй, наиболее давно известный пример звездной цепочки. Исключительно высокая светимость всех трех сверхгигантов и принадлежность их к очень узкому интервалу спектральных типов делают совершенно невероятной гипотезу о случайной близости этих объектов. Можно с абсолютной уверенностью утверждать, что эта тройка исключительных сверхгигантов имеет совместное происхождение. Поэтому их конфигурация в виде цепочки представляет значительный интерес.

2. *Цепочка звезд типа O-B0 в скоплении NGC 6823,* на которую впервые обратил внимание Маркарян [16]. Согласно

Шарплессу [8], эта цепочка (BD+22°3782) фактически состоит из трех кратных систем типа Трапеции—весьма компактных звездных групп. Эта цепочка трапеций расположена в центре скопления и туманности NGC 6823 и о случайной ее природе не может быть и речи. На фоне туманности NGC 6823 обращают на себя внимание многочисленные прожилки темной материи типа слоновых хоботов. Согласно Шайну, направление темных прожилок должно совпадать с направлением магнитных линий. Поэтому интересно, не совпадает ли направление цепочки BD+22°3782 с направлением этих прожилок? Это могло бы дать некоторые указания на механизм возникновения цепочки. Однако эти направления оказываются между собой почти перпендикулярными. Следует вновь подчеркнуть тот факт, что рассматриваемая цепочка находится в центре большой газовой туманности, диаметр которой порядка двадцати парсек, то есть мы имеем положение, аналогичное примерам, приведенным в первой части настоящего сообщения. Длина цепочки меньше одного парсека.

3. *Третий пример* не относится к горячим звездам. Мы имеем в виду цепочку объектов Хербига—Аро в Орионе. В настоящее время представляется весьма вероятным, что каждый из этих объектов содержит в себе группу молодых карликов. Таким образом, и в этом случае мы имеем цепочку, состоящую из групп, напоминающих системы типа Трапеции. В отличие от второго примера, мы имеем здесь не горячие звезды, а холодные карлики.

Существование ряда других цепочек горячих гигантов установлено как в нашей Галактике, так и в М33.

Нам кажется, что самый факт возможности появления как цепочек отдельных гигантов (или сверхгигантов), так и цепочек тесных звездных групп имеет большое космогоническое значение и указывает на одно из возможных направлений, в котором должно идти изучение реального механизма звездообразования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Амбарцумян, Эволюция звезд и астрофизика, АН Арм. ССР, Ереван, 1947.
2. J. H. Oort, Gas Dynamics of Cosmic Clouds, I. A. U. Symposium № 2, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1955, p. 147.

3. *J. H. Oort, L. Spitzer*, *Astrophys. J.*, **121**, 6, 1955.
4. *R. Minkowski*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **61**, 151, 1949.
5. *Г. А. Шайн, В. Ф. Газе*, Атлас диффузных туманностей, АН СССР, Москва, 1952.
6. *W. Morgan, B. Strömberg, H. M. Johnson*, *Astrophys. J.*, **121**, 611, 1955.
7. *Б. Е. Маркарян*, *Сообщ. Бюраканской обс.*, **5**, 1950.
8. *S. Sharpless*, *Astrophys. J.*, **119**, 334, 1954.
9. *В. А. Амбарцумян*, *Сообщ. Бюраканской обс.*, **15**, 1954.
10. *Б. Е. Маркарян*, *Сообщ. Бюраканской обс.*, **11**, 19, 1953.
11. *J. Hoppmann, K. Heidrich*, *Mitt. Sternwarte, Wien*, **9**, 57, 1956.
12. *T. K. Menon*, A 21-cm investigation of the Orion region, Thesis, Harvard University, 1956.
13. *V. Oberguggenberger*, *Z. Astrophys.*, **16**, 323, 1938.
14. *В. Г. Фесенков, Д. А. Рожковский*, *Астрон. ж.*, **29**, 397, 1952.
15. *Д. Я. Мартынов*, *Уч. зап. Казанского ун-та*, **114**, 89, 1954.
16. *Б. Е. Маркарян*, *Сообщ. Бюраканской обс.*, **9**, 1951.

#### О Б С У Ж Д Е Н И Е

*Э. Паркер.* Правильно ли я понял, что Вы считаете, что в данном скоплении, в котором звезды сначала образуются из газа, не все звезды образуются одновременно? То есть предполагаете ли Вы, что, например, сначала образуются одна или две звезды, затем, немного позднее, образуются еще несколько звезд, затем еще несколько, до тех пор, пока окончательно не формируется все скопление?

*В. А. Амбарцумян.* Во-первых, я не считаю, что звезды должны обязательно образовываться из диффузной материи. Мне кажется, что когда мы рассуждаем о проблеме происхождения звезд, то одна из первых задач, которая должна рассматриваться, это задача о том, является ли механизм образования звезд из диффузной материи единственно возможным, или существуют некоторые другие пути образования звезд. Возвращаясь к Вашему вопросу, я предполагаю, что наблюдательные данные показывают, что в этих скоплениях в некоторых случаях мы наблюдаем образования различного возраста. Так, трапецеподобные системы кажутся более молодыми, чем другие звезды в скоплениях.

*Э. Спигель.* Каковы относительные движения трех звезд в поясе Ориона? Имеют ли они общее движение, которое указывало бы на их принадлежность к цепочке?

*В. А. Амбарцумян.* Да, относительные движения звезд в поясе Ориона очень малы.

*М. Саведов.* Блаау обратил внимание на тот факт, что звезды с большими относительными скоростями в этих ассоциациях являются вообще одиночными, в то время как отстающие от них и расположенные в настоящее время в центре звезды имеют тенденцию быть кратными системами. Соответствует ли это предложенной Вами картине? Каково Ваше мнение об этом факте?

*В. А. Амбарцумян.* Благодарю Вас за информацию. Однако я не предлагал конкретного теоретического механизма звездообразования. Я не могу сказать, каково объяснение факта, отмеченного Блаау. Это, конечно, очень существенное наблюдение.

*Г. Уивер.* Амбарцумян упомянул  $\lambda$  Ориона как одно из особо интересных скоплений. Недавно были выполнены некоторые очень интересные наблюдения области  $\text{H I}$ , окружающей  $\lambda$  Ориона. Я хотел бы просить Кэмпбелла Уэйда кратко сообщить о его наблюдениях этой ассоциации.

Затем *К. Уэйд* делает сообщение о радиоастрономических наблюдениях области  $\text{H I}$ , окружающей  $\lambda$  Ориона (на волне 21 см). Обнаружена тесная физическая связь между кольцами темной и светлой туманностей. С частью темного кольца ассоциируются звезды с эмиссионной  $\text{H}_\alpha$ . Туманность окружена толстой, относительно плотной оболочкой нейтрального водорода. Полная масса этой оболочки оценена в  $45\,000 M_\odot$ , а масса ионизованной области —  $2\,000 M_\odot$ . Оболочка нейтрального водорода расширяется со скоростью 8 км/сек.

*В. А. Амбарцумян.* Интересно отметить и другой факт. На периферии большой туманности вокруг  $\lambda$  Ориона имеется эмиссионная туманность, которую наблюдали Шайн и наблюдатели на обсерватории Тонанцигтла. Эта туманность имеет форму дуги. В центральной части этой маленькой туманности, которая находится на периферии большой туманности, имеется одна звезда типа Т Тельца с эмиссионными линиями, которая является к тому же переменной. Очень интересно, что эта звезда связана с кометообразной туманностью. Общее впечатление таково, что, когда мы имеем очень молодые груп-

пы горячих гигантов, они связаны с такими большими расширяющимися диффузными туманностями. Когда мы имеем молодые карлики, то мы их во многих случаях наблюдаем связанными с кометообразными туманностями. И здесь, может быть, если это не случайное проектирование (этот случай, конечно, не исключается), имеется интересный случай, когда такой комплекс звезд со спектрами типа Т Тельца расположен на периферии больших комплексов туманностей.

*Примечание.* Кроме обсуждаемых в докладе В. А. Амбарцумяна противоречий с наблюдательными данными, гипотеза Оорта—Спизера о возникновении звезд в холодных областях НІ, окружающих зоны НІІ и образовавшихся вокруг О-звезд вследствие гравитационной неустойчивости, встречается также с трудностями физического характера. Например, по мнению А. И. Лебединского и О. А. Хорошевой (Астрон. ж., 38, 54, 1956), вследствие повышения температуры в наружной расширяющейся оболочке становится невозможным образование из нее звезд.

## ОБ ЭВОЛЮЦИИ ГАЛАКТИК\*

### ВВЕДЕНИЕ

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

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

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

1. Само существование звездных скоплений в Галактике, вместе с некоторыми статистико-механическими соображения-

---

\* On the Evolution of Galaxies. Доклад на XI Сольвейской конференции в Брюсселе, 9—13 июня 1958 г. Опубликовано в трудах конференции: *La structure et l'évolution de l'univers*, Editions Stoops, Bruxelles, 1958, p. 241. Здесь печатается по русскому тексту: Изв. АН АрмССР, серия физ.-мат. наук, 11, № 5, 9, 1958, который был опубликован со следующим примечанием: «Настоящая статья представляет собой отчет, представленный автором XI Сольвейской конференции в Брюсселе в июне 1958 года. Отдельные места переработаны при подготовке статьи к печати».

ми 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 Трапеции Ориона дало возможность установить существование особенно молодых кратных звезд и, тем самым, приблизиться к самому моменту образования звездной группы.

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

Так, например, такие близкие к нам гигантские звездные системы, как М 31, М 81 и М 101, являются центрами в высшей степени интересных групп галактик. Сама наша Галактика имеет несколько спутников различной природы. Поэтому естественно думать, что вопрос о происхождении галактик не может быть отделен от вопроса о происхождении их групп и скоплений.

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

В настоящем сообщении мы начинаем рассмотрение вопроса именно с проблемы кратных галактик и скоплений галактик. Однако изучение некоторых кратных систем привело нас к заключению, что между механизмом образования компонент и способом возникновения отдельных особенностей в структуре галактики существует интимная связь. Пока еще трудно понять точный характер этой связи, но нам кажется, дальнейшее изучение этой стороны вопроса должно открыть большие перспективы в решении вопроса о происхождении наблюдаемых структур отдельных галактик. Наконец, исследование радиогалактик, систем, в которых происходят бурные нестационарные процессы, показало, что в каждой такой системе мы встречаемся в том или ином виде со следами двойственности. Сопоставляя это с другими данными, относящимися к кратным галактикам, мы видим, что чем теснее двойная или кратная система, тем более резко выявляются следы нестационарности. Все это вновь подчеркивает значение фактов, относящихся к кратности галактик и к тенденции галактик составлять группы, для проблемы происхождения и эволюции галактик.

Посвящая настоящий доклад этим вопросам, мы, вместе с тем, сознательно опускаем многие данные, относящиеся к звездному населению галактик и представляющие интерес для проблемы эволюции галактик, поскольку эти вопросы освещены в работах Бааде и других астрофизиков.

## § 1. ФИЗИЧЕСКИЙ СМЫСЛ ТЕНДЕНЦИИ К ГРУППИРОВАНИЮ

После работ Цвикки [5], а также Неймана, Скотт и Шена [6] имеются веские основания считать, что большинство галактик входит в состав скоплений или групп галактик, в то время как число изолированных галактик в общем метагалактическом поле мало. В этом смысле даже трудно говорить о сколько-нибудь однородном общем метагалактическом поле, которое может быть противопоставлено сгущениям галактик. Следует считать, что это поле как раз и состоит, в основном, из различных скоплений и групп, т. е. из неоднородностей различного масштаба. В этом отношении положение дел в Метагалактике сильно отличается от того, что имеет место внутри звездных систем, где обычно доминирует общее звездное поле с медленно меняющейся плотностью, а скопления являются отдельными, сравнительно редко встречающимися в этом поле неоднородностями.

Из статистической механики следует, что скопления и группы с течением времени должны распадаться [1]. При этом распад будет носить различный характер и требовать разных сроков в зависимости от того, находятся ли рассматриваемые скопления и группы в стационарных, либо в квазистационарных состояниях с отрицательной энергией, или же в состояниях, когда среди членов скопления имеется значительный процент таких, которые обладают положительной энергией и могут сразу покинуть скопление с большой скоростью.

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

В первом же случае, когда скопление обладает отрицательной 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 М 31. Вспомним, однако, что, говоря о кратности звезд, мы не учитываем возможного присутствия планет, поскольку эти последние обладают массами, незначительными по сравнению со звездами. Точно так же при определении кратности галактик целесообразно не учитывать системы типа Скульптора, как не учитываются и шаровые скопления, имеющие, по-видимому, массы, лишь немного уступающие массам галактик типа Скульптора.

В таком случае приходится считаться с фактом, что в нашей Местной системе, содержащей лишь несколько одиночных галактик (М 33, NGC 6822, IC 1613 и, возможно, некоторые другие), имеется одна тройная галактика и одна галактика еще более высокой кратности. Можно поставить вопрос, каково должно было быть математическое ожидание числа двойных и кратных галактик при диссоциативном равновесии. Оказывается, что при диссоциативном равновесии математическое ожидание числа двойных галактик в Местной системе должно было быть меньше 0.05, а математическое ожидание числа тройных галактик и галактик более высокой кратности во много раз меньше. Поэтому тот факт, что мы имеем в Местной Группе галактик две системы столь высокой кратности, является очень сильным отклонением от диссоциативного

равновесия. Таково же положение во многих других группах и скоплениях. В некоторых случаях степень отклонения от диссоциативного равновесия во много раз больше.

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

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

*Вывод. Составляющие любой кратной галактики возникли совместно.*

Этот вывод основан на статистических соображениях, поэтому он справедлив по отношению к подавляющему большинству кратных галактик. Однако наше доказательство оставляет возможность отдельных исключений, т. е. возможность того, что какое-то ничтожное меньшинство кратных галактик все же образовалось в результате взаимного захвата (при тройных сближениях или иным путем) из одиночных галактик.

### § 3. НАБЛЮДАЕМЫЕ КОНФИГУРАЦИИ КРАТНЫХ ГАЛАКТИК

За время жизни галактик (несколько миллиардов лет) возмущения в состояниях кратных галактик, возникающие вследствие сближений с другими внешними галактиками, должны были быть незначительными. Поэтому можно рассчитывать, что эти состояния носят в себе следы первоначальных условий возникновения кратных систем. Естественно, поэтому,

искать в статистических данных, характеризующих совокупность двойных и кратных галактик, информацию о механизме их образования. К сожалению, мы не располагаем достаточно надежными количественными данными подобного рода. Например, было бы интересно знать закон распределения расстояний между компонентами двойных галактик. Что же касается значений этого расстояния для отдельных изученных пар, то сами по себе они вряд ли могут дать основание для космогонических обобщений.

Совершенно иначе обстоит дело с кратными галактиками, в которых число 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  $\frac{ab}{ac}, \frac{ab}{bc}$  и  $\frac{ac}{bc}$  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 меньше, чем  $\sqrt{10}$ . Например, в некоторых работах мы брали  $k_0 = 2.5$ . Те же системы, где нет троек, в которых отношение

наибольшего расстояния к наименьшему меньше 2.5, но есть тройка, в которой это отношение заключено между 2.5 и 3, мы называли системами промежуточного типа.

Такое разделение конфигураций кратных систем на два основных типа с прибавлением промежуточного типа, введенного нами лишь для большего разграничения основных типов, оказывается полезным и для целей внегалактической астрономии.

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

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

Так, например, среди 132 кратных галактик, встречающихся в каталоге Холмберга [8], 87 имеют такие конфигурации, что безусловно должны быть отнесены к типу Трапеции. Только 27 систем являются 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 компонентов многими способами можно выбрать тройки галактик, все расстояния внутри которых—величины одного порядка.

Мы здесь не будем разбирать вопрос об избирательности каталога кратных галактик в отношении конфигураций разного типа. Точно так же мы не будем рассматривать чисто технический вопрос о поправках, которые необходимо внести в статистические данные для перехода от распределения по типам, получающимся в *проекции*, к распределению по типам, которое должно было бы получиться, если бы мы имели возможность вести статистику *пространственных* конфигураций. Эти вопросы в первом приближении рассмотрены в соответствующих работах автора. Получающиеся количественные поправки не меняют качественный результат. Поэтому мы получаем следующий вывод: *большинство кратных галактик обладает конфигурациями типа Трапеции.*

#### § 4. О ПРИЧИНЕ ПРЕОБЛАДАНИЯ ТРАПЕЦИИ

Тот факт, что подавляющее большинство кратных звезд имеет конфигурации обыкновенного типа, находит следующее естественное объяснение. Конфигурация типа Трапеции, как правило, неустойчива даже в том случае, если полная энергия кратной системы отрицательна. В то время как движения в системе обыкновенного типа могут быть приближенно сведены к сумме нескольких кеплеровских (а значит периодических) движений, движения в системе типа Трапеции являются

весьма сложными и запутанными. С течением времени, при близком прохождении друг около друга двух компонент, одна из них может приобрести кинетическую энергию, достаточную, чтобы покинуть систему. Это тот же механизм, который действует в открытых звездных скоплениях. Подсчеты показывают, что для разрушения системы, обладающей конфигурацией типа Трапеции, в среднем нужно, чтобы ее компоненты совершили несколько оборотов. Для большинства звезд этот промежуток времени ничтожен по сравнению с их возрастом. Поэтому подавляющее большинство возникавших в Галактике систем типа Трапеции должно было разрушиться. Это объяснение, вместе с тем, дает возможность понять наблюдаемое в отношении звезд типов 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 Лебедь) звезда ADS 13626 обладает визуальными компонентами, разность лучевых 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 *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 лучевых 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

Трапезни. 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 лучевые скорости. Их средняя, исправленная за движение Солнца, лучевая скорость равна  $+72$  км/сек. Только у галактики М 82 лучевая скорость равна  $+410$  км/сек. Поэтому относительно нее может возникнуть сомнение в принадлежности к группе. Однако между галактикой М 82 и галактикой NGC 3077 существует очень тесное физическое сходство. Обе они принадлежат к категории иррегулярных галактик, состоящих из населения второго типа, и обе обладают высокой поверхностной яркостью. Вследствие того, что совпадение указанных характеристик среди относительно ярких галактик встречается очень редко, следует считать крайне невероятным, что мы имеем здесь дело со случайным проектированием М 82 на область неба, занимаемую группой. Таким образом, можно считать почти достоверным, что все четыре галактики физически связаны между собой. Тогда разницу в лучевых скоростях следует объяснить орбитальным движением.

Естественно сначала допустить, что наибольшей массой из указанных четырех галактик обладает наиболее яркая, т. е. М 81. Но масса ее определена на основании изучения вращения Гвидо Мюнчем [12]. Она близка к  $10^{11}$  масс Солнца. Лучевая скорость М 82 отличается от лучевой скорости М 81 на  $327$  км/сек. Разница пространственных скоростей может быть гораздо больше. Нетрудно рассчитать, что такая разность скоростей может соответствовать только гиперболическому движению, если сумма масс галактик М 81 и М 82 меньше, чем  $3 \cdot 10^{11}$  солнечных масс. Таким образом, если предполагать эллиптическое движение, масса галактики М 82 должна, во всяком случае, превосходить  $2 \cdot 10^{11}$  солнечных масс. Таким образом, доминирующую роль в системе должна играть галактика М 82. Если так, то возникает трудность с NGC 3077, лучевая скорость которой отличается от лучевой скорости М 82 уже на  $436$  км/сек и которая находится в проекции на расстоянии почти 55 тысяч парсек от М 82. Для того, чтобы объяснить эту разность скоростей, надо допустить, что минимальная масса М 82 больше, чем  $10^{12}$  солнечных масс. Такое предполо-

жение ведет к необычайно большому значению отношения  $M/L$  для М 82 (порядка 500). Учитывая же, что реальные относительные скорости могут составлять значительные углы с лучом зрения, мы придем к еще большим значениям массы М 82. Единственным выходом из создавшегося положения является допущение, что галактика М 82 просто удаляется из группы, связанной с М 81, со скоростью, значительно превосходящей скорость отрыва. Это означает, что один из членов 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\*.

д) Квинтет Стефана несомненно является физической группой. При рассмотрении фотографий этой группы особенно

\* Здесь и в дальнейшем мы исходим из значения постоянной Хаббла  $H=180$  км/сек на мегапарсек, полученной в работе Хьюмсона, Мейола и Сенделжа [14]. Согласно работе Сенделжа, доложенной на Солдатовской конференции 1958 года,  $H=75$  км/сек на мегапарсек.

Однако мы не считаем необходимым изменить цифры, данные в тексте, поскольку основные выводы настоящей статьи сохраняют свою силу независимо от принятия или непринятия нового значения  $H$ . (Прим. автора).

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.

е) Встречается ряд тесных двойных галактик, где очень трудно считать систему оптической и, тем не менее, разность лучевых скоростей очень велика. Примером может служить пара NGC 2831 и NGC 2832, в которой расстояние между компонентами меньше 30'', что соответствует в проекции менее чем 4 000 парсек, тогда как разность лучевых скоростей примерно 1 800 км/сек [14]. Однако рассматриваемая пара находится в скоплении галактик, где вероятность проектирования может быть сравнительно большой, а разности лучевых скоростей членов иногда достигают 2 000 км/сек и более. Тем не менее, удивительно, что как раз две столь близко проектирующиеся галактики обладают столь большой разностью скоростей.

Перечисленные факты трудно объяснить, основываясь на допущении, что в каждой физической кратной системе все компоненты удерживаются благодаря силе притяжения.

*Вывод. Среди кратных галактик встречаются системы, в которых одна или несколько компонент имеют скорости, достаточные для ухода из системы.*

#### § 6. О ЗНАКЕ ПОЛНОЙ ЭНЕРГИИ БОЛЬШИХ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК

Как известно, для определения средних масс галактик часто к скоплениям галактик применяют теорему вириала. Согласно этой теореме, масса скопления определяется из формулы:  $M = \frac{2\bar{v}^2 R}{G}$ , где  $\bar{v}^2$  — средний квадрат скорости, отнесенной к центру масс скопления, а  $R$  — радиус скопления\*. Приме-

\*  $G$  — гравитационная постоянная.

нение 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  $1\,500 M_{\odot}$ , где  $M_{\odot}$ —масса нашей Галактики. Это означает, что средняя масса галактики в скоплении в Деве порядка  $M_{\odot}$ , однако массой порядка  $M_{\odot}$  могут обладать только галактики-сверхгиганты. Между тем мы знаем, что скопление в Деве содержит только несколько десятков сверхгигантов. Подавляющее же большинство членов этого скопления являются карликами, массы которых должны быть заключены между  $0,01 M_{\odot}$  и  $0,1 M_{\odot}$ . Это расхождение полностью объясняется, если допустить, что система в Деве имеет положительную полную энергию, т. е. представляет собой распадающееся скопление.

Несколько менее определенными являются данные о скоплении в *Coma*. Если мы применим теорему вириала, то для его массы получим огромную цифру порядка  $5\,000 M_{\odot}$ . В этом случае получается, что средняя масса членов скопления превосходит половину  $M_{\odot}$ . Это значение массы только с большой натяжкой можно примирить со светимостями членов скопления.

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

## § 7. РАДИОГАЛАКТИКИ В ПЕРСЕЕ И ЛЕБЕДЕ

Если мы примем сделанные выше выводы о совместном образовании компонентов кратной галактики и о взаимном удалении галактик в некоторых скоплениях и группах, то естественно заключить, что каждая группа непосредственно после своего образования представляла систему более тесную, чем мы наблюдаем сейчас. При этом возможны две гипотезы: а) галактики данной группы или кратной системы образуются из единой аморфной массы, диаметр которой по порядку величины не меньше диаметра средней галактики (несколько тысяч парсек); б) первоначальное ядро галактики

по неизвестным нам причинам делится на отдельные части, которые дают начало самостоятельным галактикам, составляющим компоненты системы. В этом случае процесс деления должен происходить в небольшом объеме с поперечником, измеряемым парсеками или десятками парсек.

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

Рассмотрим несколько подробнее вторую гипотезу.

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

Именно такую картину бурных нестационарных процессов мы наблюдаем в случае радиогалактик Лебедь А и Персей А. Наличие интенсивного радиоизлучения должно при этом рассматриваться как указание на происходящие бурные процессы столкновений масс межзвездного вещества.

В обоих этих случаях мы наблюдаем огромные скорости взаимных движений. Так, галактика NGC 1275 (Персей А) как бы состоит из двух галактик, движущихся относительно друг друга так, что разность лучевых скоростей, определенная Минковским [15], достигает 3 000 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 эмис-

сионные линии очень высокой интенсивности, причем эти линии имеют значительную ширину. Все это свидетельствует об интенсивных движениях и процессах возбуждения в этой галактике.

Таким образом, вторая из высказанных выше гипотез находится в грубом соответствии с данными о радиогалактиках Лебедь А и Персей А. Конечно, такое соответствие еще не является окончательным подтверждением второй гипотезы. Последняя требует дальнейшего сравнения с наблюдениями.

Что касается первой гипотезы, то пока трудно говорить о наблюдательных данных, которые бы соответствовали представлению о зарождении групп галактик из аморфного вещества. Наличие радиоизлучения нейтрального водорода в линии 21 см, исходящего от скопления галактик в *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 выдвижению гипотезы о столкновениях прежде независимых друг от друга объектов. Учитывая, что все радиогалактики, т. е. галактики, дающие особенно интенсивное радиоизлучение, являются сверхгигантами с абсолютной величиной порядка—20, мы должны отказаться от этой гипотезы, поскольку взаимные столкновения карликовых галактик должны были быть гораздо более частыми. 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 ее скоплении галактик.

В этой связи следует еще раз обратить внимание на тесную двойную галактику NGC 2831—2832, о которой говорилось выше. По крайней мере, в проекции это—пара взаимопроникающих галактик с угловым расстоянием между центрами ме-

нее  $30''$ . Как указывалось, разность лучевых скоростей этой пары доходит до  $1\,800$  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  $3\,000$  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 1486=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 Крабовидной туманности. Отсюда следует, что в сгущениях струи источником излучения являются не только звезды, но и диффузное вещество, находящееся в том же состоянии, что и вещество Крабовидной туманности. Иными словами, в этих сгущениях можно предполагать значительное количество электронов высокой энергии.

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

Возможны два предположения: а) релятивистские электроны были непосредственно выброшены из ядра галактики и б) из ядра выброшены объекты, которые являются источниками релятивистских электронов столь высокой энергии, что

их синхротронное излучение сосредоточено в оптической области.

Ограничиться первой гипотезой невозможно, поскольку в этом случае нельзя будет понять сосредоточение оптического излучения в малом объеме сгущений. Поэтому надо думать, что в самих этих сгущениях сосредоточены источники, испускающие электроны высокой энергии. Наблюдения над объектами нашей Галактики показывают, что мощными источниками электронов высокой энергии являются различные нестационарные объекты (Сверхновые, звезды типа Т Тельца и прочие). Поэтому весьма вероятно наличие в рассматриваемых сгущениях большого числа подобных нестационарных объектов.

Таким образом, мы как будто приходим к пониманию природы рассматриваемых сгущений. Они являются *конгломератами облаков релятивистских электронов, газовых облаков и нестационарных звезд*. Вряд ли подобного рода конгломераты существуют в ядрах галактик. Поэтому придется 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 относительно небольших масс. Эти выброшенные массы могут в короткие сроки превращаться в конгломераты, состоящие из молодых нестационарных звезд, межзвездного газа и облаков частиц высокой энергии.*

## § 9. ГОЛУБЫЕ ВЫБРОСЫ ИЗ ЯДЕР ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ГАЛАКТИК

Галактика NGC 4486 не является единственной галактикой, в которой мы наблюдаем выброс вещества из ядра [18]. Мы 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 два десятка голубых спутников, как правило, не связанных струей с главной галактикой и имеющих отрицательный показатель цвета. Значительная часть этих объектов по абсолютной величине намного превосходит обычные звездные ассоциации. Они могут быть приняты за отдельные галактики.

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

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

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

#### § 10. ПЕРЕМЫЧКИ И ВОЛОКНА, СВЯЗЫВАЮЩИЕ ГАЛАКТИКИ

Большой заслугой Цвикки [13] является то, что он обратил внимание на существование двойных и тройных галактик, компоненты которых связаны между собой волокнами или перемычками различной толщины. При этом Цвикки считает вероятным, что эти перемычки образовались в результате приливного взаимодействия, происшедшего вследствие сближения двух галактик. Согласно Цвикки, перемычки и волокна состоят из звезд, выброшенных в результате прилива из данной галактики. Нетрудно видеть, что такая интерпретация не соответствует фактическим данным. В самом деле, волокна, соединяющие две галактики, иногда являются весьма тонкими. Между тем, если даже предположить, что приливная волна вырвалась как струя с поверхности данной галактики из узко локализованной области и поэтому должна была иметь сначала небольшую толщину, все же, вследствие наличия дисперсии скоростей, она должна была бы все более расширяться. Отношение толщины к длине на конце струи должно быть порядка отношения дисперсии скоростей звезд к скорости истечения. Простые соображения показывают, что скорость истечения в свою очередь не должна превосходить скорости удаления, вызвавшей прилив галактики. Во многих случаях скорости взаимного удаления должны быть по порядку величины не больше  $200 \text{ км/сек}$ . 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 перемишка является продолжением спиральных рукавов. Поэтому предположение о приливном происхождении перемишек, по существу, влечет за собой вывод о том, что спиральные рукава также являются продуктом приливного взаимодействия, причем было бы естественно распространить это и на все остальные спиральные галактики, т. е. и на те, которые не входят в пары или группы, связанные между собою перемишками. 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. Перемишки и волокна между галактиками не являются следствием приливных взаимодействий. Можно предполагать, что они возникают при взаимном удалении двух или нескольких галактик, возникших из одного ядра.*

## § 11. ГАЛАКТИКИ ТИПА М 51

Наличие в спиральной галактике М 51 спутника NGC 5195, находящегося на конце спиральной ветви, всегда казалось нам сильным доводом в пользу высказанного в предыдущем параграфе предположения. По нашему мнению, тот факт, что спиральный рукав не продолжается или почти не продолжается за NGC 5195, является серьезным свидетельством против предположения, что NGC 5195 случайно проектируется на экваториальную плоскость спиральной галактики NGC 5194. Однако было желательно найти другой случай, когда связь между спиральной структурой и наличием спутника является еще более убедительной. Такой случай был найден моей студенткой Искударян на картах Паломарского атласа. Речь идет о двойной галактике NGC 7752—7753. На фотографии в синих лучах спиральный рукав состоит из трех параллельных волокон, которые одновременно прерываются, достигнув спутника. Два волокна из трех направлены в центральную область эллиптического спутника, в то время как третье волокно, идя параллельно первым двум, почти доходит до периферии эллиптического спутника и непосредственно перед достижением спутника резко заворачивает к его центру. Конечно, фотографии большего масштаба смогут дать более точное представление о всей картине явления и уточнить отдельные детали. Однако факт связи между эллиптическим спутником и рукавом не оставляет никаких сомнений.

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

Таким образом, образование типа М 51 нельзя считать результатом простого проектирования. Как было указано Б. А. Воронцовым-Вельяминовым [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 М 51, но уже состоящими из крайнего населения I типа Бааде. Эти объекты, очевидно, могли возникнуть только в результате деления 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 цент-

радиального 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 (сверхсоциацию).*

### § 13. О ПРИРОДЕ ЯДЕР ГАЛАКТИК

Наши сведения о ядрах галактик весьма скудны. Говоря о ядрах, мы имеем в виду небольшие образования, обладающие диаметром в несколько парсек, очень высокой поверхностной яркостью и находящиеся в центре галактики [20]. В прошлом году доктор Бааде любезно показал мне снимок ядра галактики M 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 Хюлста, 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 выделяют значительные массы газов, а также более плотные сгустки. По истечении некоторого времени эти сгустки могут прийти в квазистойчивое состояние под влиянием собственного притяжения, т. е. превратиться в звезды.

Не все превращения, о которых говорилось выше, должны заканчиваться непосредственно вслед за образованием спирального рукава или новой галактики. В некоторых случаях эти превращения могут запаздывать вследствие перехода ряда отдельных осколков в своего рода метастабильные состояния и лишь после определенного периода времени эти осколки превращаются в звезды и газ. Превращения этого последнего типа мы и наблюдаем, вероятно, в нашей Галактике, как явление возникновения звезд и туманностей в звездных ассоциациях. Это относится как к O-, так и к T-ассоциациям.

Эта точка зрения может вызвать возражения, в частности могут указать, что в настоящее время трудно предложить физическую модель массивного тела с описанными выше особенностями. Даже если мы не станем сразу пытаться непосредственно понять конкретный механизм деления массивного тела, расположенного в ядре, тем не менее, могут возникнуть трудности в связи с требованиями различных законов сохранения и, в частности, сохранения вращательного момента. С другой стороны, возможно, что рассмотрение процесса совместного возникновения двух и более звездных систем может оказаться полезным для преодоления этих трудностей.

В заключение этого параграфа мы хотим подчеркнуть, что, прежде чем начать строить теории возникновения галактик, было бы весьма полезно определить из наблюдений характер процессов, ведущих к образованию новых звездных систем. Только после этого должна ставиться проблема теоретического истолкования наблюдаемых процессов.

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

#### § 14. О ПОВТОРЕНИИ ПРОЦЕССОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КОМПОНЕНТ И РУКАВОВ

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

Хотя в нашем распоряжении нет данных о пространствен-

ком 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 б) совместное возникновение звезд и межзвездного газа из дозвездных тел. Поэтому наибольшую ценность должны представлять факты, которые могут позволить делать выбор между этими двумя истолкованиями. Перечислим здесь некоторые из подобных фактов:

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

2. Плотность межзвездного газа в Малом Магеллановом Облаке не меньше, а, пожалуй, больше, чем соответствующая плотность в Большом Магеллановом Облаке [12]. 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 O-ассоциаций. В частности, представляет интерес тот факт, что в Малом Магеллановом Облаке классических цефеид особенно много. Поэтому несомненно, что происхождение классических цефеид так или иначе связано с межзвездным газом. Если считать, что звезды возникают из газа, то это означает, что процесс превращения газа в звезды в Малом Облаке идет уже давно. Это делает еще более острым противоречие, указанное в предыдущем пункте.

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

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

*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 примерно 6 миллиардов лет тому назад. Согласно этой точке зрения, эти звезды не могут возникать непосредственно из дозвездного вещества (независимо от природы последнего). Они являются результатом развития звезд, когда-то имевших те же или почти те же свойства, что и наблюдаемое ныне население I типа.

С другой стороны, Кукаркиным [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 Спизер и Шварцшильд показали, что если допустить существование в Галактике достаточного числа массивных тел (например, комплексов диффузных облаков с массами порядка  $10^5$ — $10^6$  масс Солнца), промежутков времени, необходимый для заметных изменений в распределении скоростей звезд, уменьшается до величины порядка  $10^9$ — $10^{10}$  лет [24]. Спизер и Шварцшильд считают, что именно этот механизм действует в нашей Галактике. Однако оказывается, что и при таком допущении столь большое изменение, как превращение какой-либо плоской подсистемы в сферическую подсистему, требует сроков, намного превышающих среднюю продолжительность жизни звезд.

Поэтому можно считать, что звездное население II типа, т. е. население сферических подсистем, возникло с таким же, примерно, начальным распределением скоростей, какое оно имеет сейчас.

Такое заключение само по себе не противоречит допущению, что в начальной стадии своего развития эти звезды по своему физическому строению могли быть сходны со звездами населения I типа. Однако могут быть приведены серьезные факты, свидетельствующие о возрастных различиях среди звезд населения II типа и, в частности, о наличии среди них сравнительно молодых звезд. Так, согласно Переку [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 появления таких объектов и в нашей Галактике. С другой стороны, не может быть сомнений в том, что звезда АЕ Возничего, также обладающая «гиперболической» скоростью, возникла в нашей Галактике.

Наконец, мы имеем данные о населенных тех шаровых скоплениях, 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 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 Хёрнеру [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 ДВОИНЫХ 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 M 31 и M 33 также могут рассматриваться как изолированная пара. Является фактом,

что они показывают противоположное направление спиральных рукавов.

Если же не ограничиваться изолированными парами, то можно остановиться на случаях, когда в группе встречаются две галактики, связанные между собой мостом. В тройной системе Уилда каждые две связанные мостом галактики показывают противоположное направление рукавов. В известном скоплении галактик в Геркулесе замечательная парасросшихся 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 записи ЛГУ, № 22, Серия математических наук (астрономия), вып. 4, 19—22, 1938.
2. В. А. Амбарцумян, Астрон. ж., 14, 207—219, 1937.
3. В. А. Амбарцумян, Эволюция звезд и астрофизика, Ереван, 1947.
4. В. А. Амбарцумян, Астрон. ж., 26, 3, 1949; A. Blaauw, BAN, 11, 405, 1952.
5. F. Zwicky, Publ. Astron. Soc. Pacif., 50, 218, 1938; 64, 247, 1952.
6. J. Neyman, E. L. Scott and C. D. Shane, Astrophys. J., 117, 92, 1953.
7. В. А. Амбарцумян, ДАН Армянской ССР, 13, 129, 1951; Сообщ. Бюраканской обс. № 15, 1954.
8. E. Holmberg, Annals of the Lund Observatory, № 6, 1937.
9. В. А. Амбарцумян, Известия АН Армянской ССР, серия физ.-мат. наук, 9, 23, 1956.
10. C. Seyfert, Publ. Astron. Soc. Pacif., 63, 72, 1951.
11. E. Holmberg, Meddelande Lund Observatory, Ser. II, 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, Bd. 29, 344, 1956.
14. M. L. Humason, N. U. Mayall and A. R. Sandage, Astron. J. 61, 97, 1956.
15. R. Minkowski, Report to the Meeting of the Astron. Soc. Pacif., Pasadena, June 21, 22, 1955.
16. D. S. Heeschen, Astrophys. J., 124, 660, 1956; Publ. Astron. Soc. Pacif., 69, 350, 1957.
17. W. Baade and R. Minkowski, Astrophys. J., 119, 215, 1954.
18. В. А. Амбарцумян, Р. К. Шахбазян, ДАН Армянской ССР, 25, 185, 1957.
19. Б. А. Воронцов-Вельяминов, Астрон. ж., 34, 8, 1957.
20. W. Baade, IAU Symposium № 5, p. 1, Cambridge, 1958.

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, № 732, 152, 1935.
24. L. *Spitzer* and M. *Schwarzschild*, Astrophys. J., 114, 385, 1951.
25. L. *Perek*, Astr. Nachr., 283, 213, 1956.
26. C. R. *Burbidge* and E. M. *Burbidge*, Handbuch der Physik, Bd. 51, (в печати).
27. C. V. *Hoerner*, Zs. f. Astrophys. 35, 255, 1954.

### О Б С У Ж Д Е Н И Е

*Морган*. Смысл терминов «население I» и «население II», возможно, следует пересмотреть, если во Вселенной мы наблюдаем галактики, находящиеся на весьма различных стадиях эволюции. В галактиках, находящихся в очень ранней стадии, в настоящее время мы, может быть, наблюдаем формирование шаровых скоплений или, скорее, объектов, которые будут считаться шаровыми скоплениями на более поздней стадии своего эволюционного развития. Было бы трудно подобные объекты причислить только к одной из двух групп населения.

*Орт*. Я согласен с д-ром Амбарцумяном, что существуют явления, по-видимому, указывающие на нечто настолько загадочное, что заставляет подозревать о том, что, по крайней мере, в некоторых случаях звезды не возникают просто путем конденсации межзвездного газа. В связи с этим я имею в виду, в частности, крайнюю молодость туманности Ориона и большие скорости некоторых молодых звезд, выброшенных, по-видимому, из области Ориона. Однако я несколько сомневаюсь в том, есть ли в мире галактик достаточно неоспоримых явлений, чтобы оправдывать принятие такой революционной идеи, как идея о делении галактик. Я не вижу пока много возражений против той точки зрения, что в большинстве радионисточников, связанных с взаимодействующими галактиками, это взаимодействие является реальным столкновением. Д-р Амбарцумян показал, что галактики, связанные с подобными радионисточниками, всегда являются объектами исключительной яркости. Но это не говорит против идеи столкнове-

ния. Оно могло бы только означать, что для возникновения радиоисточника необходимо не только столкновение, но столкновение между галактиками-гигантами, возможно потому, что эти гигантские галактики обладают некоторыми свойствами, которые существенны для возникновения интенсивного радиоисточника (например, достаточно большое «гало»).

Что касается той возможности, что некоторые скопления галактик, подобно расширяющимся ассоциациям в нашей Галактике, могут обладать положительными энергиями, то я согласен, что доступными данными она, по-видимому, не может быть опровергнута. Однако, если скопление *Virgo* имело бы положительную энергию, то оно не могло быть старше, чем одна десятая возраста Вселенной\*. Измерения цветов шаровых скоплений в М 87 могли бы решать выбор между таким молодым возрастом и возрастом примерно  $10 \cdot 10^9$  лет, который я считал бы более вероятным. Наверно, тот факт, что цвета всех известных нам эллиптических галактик тождественны, также указывает на то, что скопление *Virgo* не может быть намного моложе.

*Гольд.* Расширяющиеся ассоциации молодых звезд и связанные с ними большие газовые массы непременно требуют объяснения в рамках некоторого, пока мало знакомого нам процесса. Идея, которой следовали некоторые из нас, предполагает собой ядерный взрыв, следующий за гравитационной конденсацией очень больших масс звезд и пыли. Если бы массы газа порядка 10 000 солнечных масс образовали гравитационные системы, то можно оценить, что более поздние фазы должны были бы включать очень быстрое гелиево-гелиевое сжатие. Центральная плотность и давление могут достигнуть таких значений, которые подразумевают освобождение большого количества ядерной энергии. Затем система может взорваться и в этой фазе может иметь место достаточная неустойчивость в потоке, чтобы оставить фрагменты размеров звезд как самогравитирующие объекты. Эта спекуляция становится особенно привлекательной по следующим причинам:

---

\* Здесь, по-видимому, имеется в виду возраст Метагалактики, порядка  $10^{10}$  лет.

1. В расширяющихся ассоциациях некоторые звезды имеют скорости, превышающие скорости, которые могут быть приписаны любым гравитационным взаимодействиям.

2. Кинетическая энергия газовых масс в Галактике кажется несколько большей, чем та, которая может быть обусловлена возбуждением, вызванным звездами.

3. Количество гелия в Галактике кажется больше, чем следовало бы ожидать для ее общей светимости и возраста.

4. Распределение в Галактике элементов с атомным весом ниже железа, обусловленное другими процессами, по-видимому, является не совсем адекватным. Вновь предлагаемое развитие действительно может помочь обоим процессам: распределения и ядерным.

С теоретической точки зрения можно сказать, что из первоначального газа легче получить очень массивные сгущения, чем сгущения порядка звездных масс. Наличие пыли может играть важную роль в наделении излучательными свойствами в ранних стадиях достаточно долго для обеспечения продолжения сжатия, необходимого для сопротивления дальнейшему возмущению турбулентными движениями в окрестности.

Яркость такого взрыва может и не быть слишком большой, поскольку нет уверенности в том, что излучение внутреннего взрыва сможет достаточно быстро проходить сквозь большую толщину внешних слоев. Во всяком случае, это явление довольно редкое, может быть, в 1000 раз более редкое, чем сверхновые, и поэтому нелегко будет непосредственно замечать его в других галактиках.

Передача углового момента представляет наибольшую трудность, но длинно-растянутые магнитные поля, вдоль которых имеет место начальное сжатие, смогут в самых ранних стадиях вынимать угловой момент.

Интересно бы еще знать, не имеют ли место взрывы еще больших масштабов, что приведет к спекуляциям, более близким к спекуляциям д-ра Амбарцумяна. Может быть, даже все E-галактики возникли в единичных происшествиях.

*Бонди.* Расчеты по этой модели я начал для стадии, когда преодолены начальные серьезные трудности, указанные

Гольдом, но до начала ядерных реакций. Первоначальное сжатие должно быть быстро ускоряющимся, между тем, позже движение будет продолжаться с более или менее постоянной скоростью, обеспечивая энергию, требуемую для нагревания и свечения тела, посредством гравитационного сжатия. Ядерные реакции, начинающиеся в таких условиях быстрого спада, могут привести к очень сильным взрывам.

*Мак Кри.* Теория образования звезд, о которой я говорил сегодня утром, по существу та же самая, что и описанная здесь Гольдом. Я полагаю, что идея о том, что для возникновения расширяющегося скопления требуется освобождение некоторой ядерной энергии, принадлежит Гольду. Здесь я хотел бы отметить только два пункта. Степень давления, встречаемая в горячих областях (НП) межзвездной материи, может положить начало коллапсу массы в несколько сот солнечных масс, а не в несколько солнечных масс. Во-вторых, я считаю верным, что если во временно-большой «звезде» количество освобожденной энергии примерно такое, какое должно даваться ядерной энергией в массе, соответствующей пределу Чандрасекара, тогда это было бы достаточно, чтобы объяснить кинетическую энергию результирующей группы обычных звезд.

В связи с совершенно иной проблемой мы можем упомянуть слова Салама о том, что ядерщики-физики не должны удивляться, если ядерные взаимодействия определенного порядка «слабости» (в техническом смысле) привели бы к творению новой материи, как это требуется стационарной космологией. Это, в свою очередь, предполагает, что творение новой материи могло бы коррелироваться со сгущениями уже существующей материи. Предварительно эта идея не была приемлемой для стационарной теории, поскольку она, по-видимому, не должна привести к молодым конденсациям. Если, однако, новая материя появляется с высокой кинетической температурой, так что она сможет быстро рассеяться, то это возражение уже не может остаться в силе. Я не сделал никаких выводов, но я хотел бы знать, могут ли подобные идеи иметь какое-либо отношение к представлениям, изложенным Амбарцумяном.

*Оппенгеймер.* Я согласен с Саламом, что мы не удивились бы, если бы в очень малой степени не сохранялось число барионов. Я думаю, мы слишком мало знаем об этих вещах, чтобы сказать, где, когда или как они происходят.

*Оорт.* Допущение Гольда о взрыве конденсированных масс газа, которые слишком велики, чтобы образовать одну лишь звезду, представляет интерес. Я хотел бы обратить его внимание на тот факт, что многие эллиптические галактики обладают плотными ядрами газа. Они недавно были изучены Остерброком на Паломаре. Их массы порядка  $10^6$  солнечных масс или больше. В некоторых случаях эти ядра показывают быстрое вращение, в других случаях они не показывают вращения. Можно представить, что струя М87 может быть частью продукта взрыва предлагаемого типа ядерной «сверхзвезды».

*Хойл.* Взрыв, о котором говорил Гольд, по-видимому, является довольно тонким делом, не тем, когда имеет место освобождение огромной ядерной энергии, как в случае сверхновой. По этой причине кажется, что проблема может быть квазиустойчивой, так что заслуживает внимания рассмотрение стационарных решений для очень больших масс. Интересным результатом оказывается то, что стационарные конфигурации являются исключительно конвективными. Поэтому всякие ядерные продукты будут однородно распределяться по материи. Это означает, что если какая-то большая масса будет распадаться на О-ассоциацию, то полученные звезды, вероятно, окажутся схожими по своему начальному составу.

*Шацман.* Вы отметили тот факт, что возраст галактик в несколько раз превышает период обращения кратных галактик. Означает ли это, что через несколько миллиардов лет галактики исчезнут как таковые?

Я хочу вернуться к вопросу углового момента. В случае образования звезд, кажется, трудно представить, что звезда с максимальным угловым моментом могла бы возникнуть из более плотного состояния материи.

Можно предположить, например, что во время сжатия угловой момент сохраняется во внутреннем угловом моменте материи. Однако это кажется очень трудным, поскольку

постоянная Планка весьма мала, или, другими словами, квантовые числа, соответствующие вращению звезды, порядка  $10^{20}$ , так что орбитальный угловой момент является очень большим. Могут ли физики представить себе какую-то возможность сохранения углового момента в материи?

*Примечание.* Этот доклад представляет собой наиболее полное изложение результатов исследований В. А. Амбарцумяна по эволюции галактик, основанных на принципиально новом представлении об активности ядер галактик, содержащих массивные тела незвездной природы и их решающей роли в возникновении и развитии галактик.

Хотя за время, прошедшее после появления гипотезы В. А. Амбарцумяна о природе радиогалактик, позиции сторонников о сталкивающихся галактиках значительно ослабли, однако она еще пользовалась поддержкой многих ведущих ученых. В частности, приведенное выступление Я. Оорта свидетельствует о том, что сторонники старой гипотезы, отвлекаясь от совокупности аргументов В. А. Амбарцумяна, все еще пытались возражения, выдвинутые В. А. Амбарцумяном против этой гипотезы, например, высокую светимость радиогалактик, объяснить в рамках представления о сталкивающихся галактиках. Вместе с тем, они скептически относились к идее об активности ядер галактик.

Доклад оказал большое влияние на дальнейшее развитие внегалактической астрономии и стимулировал многочисленные исследования, подтверждающие выводы, изложенные в нем, об огромной роли нестационарных явлений грандиозных масштабов (взрывы в ядрах, выбросы больших масс материи и спокойное истечение газа из ядер, мощное радионизлучение и т. д.) в эволюции галактик. Проблеме нестационарных явлений в галактиках был посвящен симпозиум Международного астрономического союза в Бюракане, в мае 1966 г. (Нестационарные явления в галактиках, АН Арм. ССР, Ереван, 1968).

## ПРОБЛЕМЫ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ\*

В настоящем докладе мы рассмотрим основные факты внегалактической астрономии. Поскольку правильное представление о внешних звездных системах—галактиках установилось в науке лишь около сорока лет назад, многие фундаментальные вопросы, относящиеся к миру внешних галактик, остаются нерешенными. Поэтому в настоящем докладе 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 служат ареной для очень грубых упрощений и безудержных экстраполяций. В настоящем докладе мы не сможем коснуться анализа этих теорий и вопроса их дальнейшего развития, хотя считаем, что критический обзор выполняемых в этой области работ был бы весьма ценным. Тем не менее факты и проблемы, которые

---

\* Problems of Extra-Galactic Research. Лекция по приглашению (Invited Discourse) на Генеральной Ассамблее Международного астрономического союза (МАС) в Беркли (Калифорния, США), 21 августа 1961 г. Опубликовано в трудах МАС: Transactions of the International Astronomical Union, Vol. XIV, Academic Press, London, New York, 1962, p. 145. Здесь печатается по русскому изданию (Вопросы космогонии, т. VIII, АН СССР, Москва, 1962, стр. 3) с незначительными изменениями в соответствии с английским оригиналом.

затронуты ниже, должны иметь значение также для космологических теорий.

### 1. ГЛАВНЕЙШИЕ ФАКТЫ, СВЯЗАННЫЕ С РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ВЕЩЕСТВА ВО ВНЕГАЛАКТИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Одним из свойств окружающего нас мира является то, что большая часть наблюдаемого нами вещества сосредоточена в звездах. Другие объекты содержат лишь небольшую часть всей наблюдаемой массы.

Важнейшим фактом внегалактической астрономии является то, что подавляющее большинство наблюдаемых звезд в свою очередь входит в состав гигантских звездных систем, носящих название галактик.

Размеры галактик и численность звездного населения в них варьируют в необычайно широких пределах. Сверхгигантские галактики типа тех двух наиболее ярких галактик, которые находятся в центре скопления в Волосах Вероники (NGC 4874 и NGC 4889), имеют фотографические абсолютные величины, доходящие до  $-22^m$ , и содержат сотни миллиардов звезд, в то время как карликовые системы типа галактики в Скульпторе имеют абсолютные величины порядка  $-11^m.0$  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  $-6^m.5$ . 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; более того, по числу звезд она уступает многим шаровым звездным скоплениям.

Что касается диаметров галактик, то они, как правило, заключены в пределах от 50 000 *пс* для сверхгигантов до 500 *пс* для субкарликов.

Гигантские и сверхгигантские галактики с диаметрами от 5 000 до 50 000 *пс* неизменно имеют высокую поверхностную яркость (выше, чем  $24^m.0$  на 1 кв. сек 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 среди карликовых галактик наряду с системами, имеющими большой градиент поверхностной яркости от края к центру, имеются системы, у которых этот градиент очень мал, так что на снимках такая система представляется почти равномерным диском.

Примерами галактик, обладающих малым градиентом плотности и входящих в Местную Группу, являются открытые Шэпли карликовые звездные системы в Скульпторе и Печи. Поверхностные яркости этих систем необычайно низки. В дальнейшем Бааде показал, что принадлежащие к Местной Группе галактики NGC147 и NGC185 также имеют малый градиент плотности. Поверхностная яркость у этой пары галактик значительно выше, чем у систем в Скульпторе и Печи. Промежуточное значение поверхностной яркости имеют два члена Местной Группы: Секстант В ( $9^{\text{h}} 57^{\text{m}} 3, +5^{\circ} 34'$ , 1950) и Лев  $2(10^{\text{h}} 05^{\text{m}} 8, +12^{\circ} 33'$ , 1950). Вместе с тем, у них градиент плотности также очень мал. В скоплении Девы встречается большое число объектов низкой поверхностной яркости с малым градиентом плотности. Некоторые из них по своим линейным размерам приближаются к средним по величине галактикам. Например, галактика IC 3475 в скоплении в Деве наряду с весьма низкой поверхностной яркостью обладает ничтожным градиентом плотности, а ее диаметр достигает 5 000 пс. 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 пс.

Тот факт, что подавляющее большинство звезд входит в состав галактик, приобретает глубокое значение, если мы примем во внимание, что в первом приближении галактики являются 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 разреженные части галактик иногда даже 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 совокупностью других членов той же галактики. Отметим, вместе с тем, что это ус-

ловие 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 скопления неправильной формы. 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 де Вокулером, содержит только галактики типа Sc и неправильные. Наша Местная Группа также не содержит эллиптических 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 содержит нашу Галактику, два Магеллановых Облака и, по-видимому, некоторые галактики типа системы в Скульпторе. Вторая группа содержит туманность Андромеды с ее

четырьмя спутниками и М 33. Однако такое разделение можно считать установленным лишь для галактик высокой и умеренной светимости.

Не исключена возможность, что все пространство Местной Группы заполнено карликовыми галактиками. Добавим, что полная масса всей Местной Группы определяется в основном двумя галактиками, являющимися по существу центрами этих двух подгрупп, т. е. массой М 31 и массой нашей Галактики. В свою очередь, богатые скопления галактик, содержащие большое число 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 к другу и присутствие одной серьезно влияет на строение другой галактики. Многочисленные примеры взаимодействующих галактик приведены в Атласе Воронцова-Вельяминова\*. При этом возможны два толкования наблюдаемых взаимодействий: 1) приливные воздействия 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 последним исследования показали, что указанные перемычки состоят из звезд. Наряду с перемычками наблюдаются струи, выходящие из центральных областей некоторых сферических галактик, которые содержат в себе голубые сгущения, являющиеся карликовыми галактиками.

К числу галактик высокой светимости, из центральных областей которых выходит струя, содержащая в себе голубые сгущения, относятся NGC 3561 и IC 1182.

---

\* Б. А. Воронцов-Вельяминов, Атлас взаимодействующих галактик, Москва, 1960.

Получается, что струя как бы соединяет большую галактику с карликовой, напоминая перемышку. В этих случаях нельзя сомневаться в том, что карликовая галактика отделилась от центрального ядра основной галактики. Поэтому кажется более правдоподобным считать, что мосты и перемышки являются вообще результатом генетического процесса возникновения двух галактик из одной.

в) *Радиогалактики.* Как известно, в отношении радиогалактик было высказано предположение, что они являются результатом случайного столкновения пары 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 являются некоторым, может быть очень коротким, этапом 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 наблюдаются лишь у небольшой доли общего числа галактик. Есть много оснований думать, что эти нарушения происходят лишь на определенном этапе развития галактик, тогда, когда возникают новые галактики.

Несмотря на то, что в изучении пространственного распределения галактик достигнуты серьезные успехи, многие важнейшие вопросы остаются нерешенными. Отметим некоторые из них: образуют ли скопления галактик в свою очередь

системы более высокого порядка типа сверхскоплений или Супергалактики?

Несомненно, что наша Местная Группа входит в состав некоторой группы скоплений, в центре которой, в качестве ее ядра, находится большое скопление в Деве. Эта большая пространственная группировка была названа де Вокулером Супергалактикой. Ее размеры порядка 20 млн пс. 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 небо в виде изолированных систем лишь небольшое число подобных образований и при поверхностном изучении вопроса трудно будет сделать заключение о существовании далеких супергалактик.

Наблюдения дают прямое указание на неравномерность в распределении скоплений и групп галактик, что в известной степени может быть объяснено существованием супергалактик. Вместе с тем 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, простирающегося от  $l=160^\circ$  до  $240^\circ$  при  $b=-140^\circ$ .

Неравномерность в распределении галактик по небу, помимо той, которая вызвана поглощением в нашей Галактике, четко обозначается уже в случае галактик каталога Шэпли и Эймс (предельная величина  $13^m$  0). Эта неравномерность связана в основном с существованием местной Супергалактики. Еще более ярко выражена неравномерность в результатах подсчетов Шейна и Виртанена (предельная величина  $18^m$  4). При этом неоднородности мелкого масштаба обусловлены сосредоточением галактик в скоплениях. Однако имеются и более крупные неоднородности, которые

вызваны тенденцией скоплений образовывать группы, которые подобны обсужденным выше супергалактикам.

Согласно данным Цвикки и других авторов, неравномерности в распределении галактик распространяются до предела, достижимого с помощью Паломарского телескопа типа Шмидта (почти до  $20^m$ ).

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 основная причина наблюдаемых неоднородностей в распределении скоплений — клочковатая структура поглощающего межгалактического пылевого вещества. Его аргументы в пользу наличия в определенных направлениях межгалактического поглощения, по-видимому, убедительны. Однако не все отклонения от однородности могут быть объяснены таким образом. Поэтому приходится считаться с реальной неравномерностью в распределении галактик на самых больших расстояниях от нас.

Эти два факта говорят о том, что осуществляется вторая альтернатива, т. е. что супергалактики существуют, но расстояния между ними примерно того же порядка, как и их диаметры. Хотя, таким образом, приходится согласиться с существованием отдельных супергалактик, следующие вопросы остаются невыясненными:

а) *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 более подробных фотометрических и статистических исследований.

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. Однако в отношении одного класса объек-

тов низкой светимости, именно галактик низкой поверхностной яркости, кое-что можно заключить на основании результатов работы 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 сказать, составляют ли галактики предельно низкой поверхностной яркости (системы типа галактики в Скульпторе или объект Цвикки в Козероге) общее межгалактическое поле или концентрируются в скоплениях и группах.

в) *Супергалактики, о которых говорилось выше, представляют собой объекты с диаметром порядка 20 млн пс. Если они являются наиболее крупными неоднородностями в распределении галактик, то можно ожидать, что пространственные ячейки размером 50 или 100 млн пс 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 величины  $21^m$ ) 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 желательность 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 перемиčky, состоит из звезд.

2. Межгалактические шаровые скопления. Некоторые из них обнаружены на расстояниях свыше 100 000 *пс* от нас.

3. Выброшенные из недр галактик гигантские облака релятивистских электронов. Например, радиоисточник Центавр А 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 несомненно успели рассеяться в межгалактическом пространстве.

4. Поглощающее пылевое вещество. Данных о размерах отдельных облаков пылевых масс нет.

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 приблизительно тысячи галактик. Никаких сведений о тангенциальных скоростях мы не имеем. Однако уже имеющиеся данные о лучевых скоростях, добытые почти целиком на обсерваториях Маунт Вилсон, Паломарской и Ликской, ставят перед нами самые трудные проблемы, с какими когда-либо 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 фактом, установленным на основании наших сведений о лучевых скоростях галактик, является расширение Метагалактики.

Выведенный из эмпирических данных закон Хаббла

$$V_r = Hr,$$

соблюдающийся с точностью до небольших флуктуаций для

значений  $r$ , доходящих почти до 2 млрд пс, говорит о приближительной однородности наблюдаемого расширения.

Все попытки найти вместо Допплер-эффекта какое-нибудь другое объяснение красному смещению оказались искусственными и безрезультатными. Поэтому при рассмотрении всех вопросов, касающихся природы и особенно эволюции Метагалактики, мы должны учитывать явления 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.

Численное значение постоянной  $H$  имеет огромное значение, поскольку его знание позволяет определить расстояние до самых отдаленных скоплений. К сожалению, это значение точно не известно. Можно с большой степенью вероятности утверждать, что оно лежит где-то в пределах

$$60 \text{ км/сек} \cdot \text{Mпс} < H < 140 \text{ км/сек} \cdot \text{Mпс},$$

а с некоторым риском, что оно заключено в промежутке

$$70 \text{ км/сек} \cdot \text{Mпс} < H < 100 \text{ км/сек} \cdot \text{Mпс}$$

в соответствии с результатами Сандейджа (1958). Мы не будем входить в обсуждение вопросов, связанных с определением значения  $H$ . Отметим лишь, что при всех условиях закон Хаббла позволяет хорошо оценивать *относительные расстояния*.

Вторым важным фактом, 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 стацио-

нарное состояние, то его полная энергия  $E$  должна быть отрицательной:

$$E = T + U < 0,$$

где  $T$  и  $U$  — соответственно кинетическая и потенциальная энергия системы. Если же  $E > 0$ , то 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 отношение 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 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 де Воклером, является особенно разительным, так как кинетическая энергия превосходит 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 явлением 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 сказано относительно полной внутренней энергии скоплений галактик, остается справедливым и в отношении кратных систем. По-видимому, некоторые кратные

системы имеют положительные полные энергии. Все эти факты заставляют считать, что соответствующие галактики сравнительно молоды: их 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* имеет конфигурации «обыкновенного» типа, в то время как конфигурации типа «Трапеции Ориона» составляют незначительный процент ( $<10\%$ ). Среди кратных галактик примерно половина систем имеет конфигурации типа Трапеции. Поскольку системы типа Трапеции, как правило, нестабильны, мы можем заключить, что время, прошедшее со времени образования этих кратных групп, превосходит не более чем в несколько раз период обращения в такой кратной системе, который в свою очередь измеряется цифрами от  $10^9$  до  $5 \cdot 10^9$  лет.

Наконец, следует отметить, что предположение об отрицательности энергии всех двойных галактик иногда приводит к невероятно большим значениям масс компонент (Пейдж), поэтому имеются основания допустить, что некоторые из двойных галактик также имеют положительную энергию.

В сверхтесных системах, каковыми являются радиогалактики, наблюдаются значительные разности скоростей компонент. Так, например, в радиогалактике Персей А эта разность достигает  $3000$  км/сек. Таким образом, и эти пары обладают положительной энергией. Согласно нашему взгляду, 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 для решения фундаментальных космологических вопросов весьма важно знать, в какую сторону

имеет место отклонение от линейности, является ли величина этого отклонения независимой от направления.

в) *Очень важно определить пекулярные скорости центров тяжести отдельных скоплений галактик, т. е. отклонение их наблюдаемых скоростей от формулы Хаббла. Это имеет существенно значение для решения вопросов о генетической связи между соседними скоплениями. Но для определения указанных отклонений нужно научиться более точно определять расстояния отдаленных скоплений независимо от закона 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, предполагая отрицательный знак энергии, а также применимость теоремы вириала.*

Нужно определить массы галактик, входящих хотя бы в ближайшие скопления, независимо от этого предположения. 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 вириала, и массой, найденной из значений светимостей индивидуальных членов системы, установлено в случае некоторых рассеянных скоплений и групп галактик (скопления в Деве, Геркулесе, группы галактик в Скульпторе, Льве и т. д.). С другой стороны, по мнению Цвикки, большие сферические скопления не показывают никаких признаков расширения.*

Для полного решения этого вопроса надо получить возможно большее число лучевых скоростей в нескольких ближайших больших сферических скоплениях.

### III. НЕКОТОРЫЕ ФАКТЫ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ПРИРОДЕ ГАЛАКТИК И ИХ СКОПЛЕНИИ

Наблюдения показывают, что формы и внутренние свойства галактик весьма разнообразны. 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  $-21^m$ . 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 настоящего доклада, диапазон светимостей галактик в скоплениях очень велик. Постепенно стало ясно, что класс светимости данной галактики (сверхгиганты, гиганты, объекты умеренной светимости, карлики или объекты крайне низкой светимости типа объекта Цвикки в Козероге) во многих случаях имеет более существенное значение, чем даже ее форма. 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 неизвест-

ные параметры, которые 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, определяемый 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, например, в системах типа 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, галактики 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, в свою очередь состоящих из звездного населения сферической составляющей и диска. Гигантские спирали типа M 31 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 население различных подсистем проходит различные, друг от друга независимые пути эволюции. Есть основания считать, что средний возраст звезд различных подсистем также различен. Получа-

ется, что, если не считать динамического взаимодействия, каждая из подсистем живет своей отдельной жизнью. Именно это важно при описании галактик как составных 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 М 31 по своему богатству и размерам не отличается сильно от нормальной галактики типа Е0, обладающей абсолютной величиной около  $-19^m$ . Между тем, последняя вовсе не содержит населения плоской подсистемы и спиральных рукавов, в то время как М 31 имеет мощные спиральные рукава и богато населенный диск.

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 является 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 супругов Бэрбиджей, основанные на измерениях лучевых скоростей в этой плоской подсистеме, экваториальная плоскость последней приблизительно перпендикулярна к экваториальной плоскости эллиптической подсистемы. Это хорошая иллюстрация 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 подсистемы.

Можно было бы привести и противоположные примеры, когда сферическая подсистема развита весьма слабо, а пло-

ская 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 М 31. К сожалению, 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 должна быть эллиптическая галактика умеренной светимости ( $M \sim -16^m$ ), обладающая малым градиентом плотности от центра к краю. Известно, что при переходе от сверхгигантских эллиптических галактик к эллиптическим галактикам умеренной 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 совпадает с центром диска и вместе с тем с областью, из которых 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 31 фотографическая величина ядра равна  $-11^m 6$ . У М 32 она равна  $-11^m 1$ . У М 33 имеем  $M = -10^m 3$ . У NGC 147  $M = -5^m 0$ . Создается впечатление, что абсолютная величина ядра уменьшается с уменьшением градиента плотности. Поэтому следовало как раз ожидать, что у NGC 185 и в системах типа Скульптора, так же, как, может быть, в Магеллановых Облаках, ядро должно иметь

еще более низкую светимость, чем в NGC 147. Если она порядка  $M = -2^m$ , то очевидно, что ядро затеряется среди звезд. Отметим, что в Магеллановых Облаках ядра будут незаметными даже в том случае, если у них  $M = -5^m$ . 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 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 и неправильные галактики, 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 ( $m-M=27^m0$ ), исследованная де Воккером, 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, так и спиральные системы.

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 в Волосах 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 богатое скопление, 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 М 84, М 86, NGC 4435, NGC 4438 и др. в скоплении в Деве. Как указал несколько лет назад Маркарян, эта цепочка—не случайное образование, 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 М 101. Мы подчеркиваем этот факт, ибо в этих случаях общность происхождения центральной галактики и ее слабых спутников представляется несомненной. Однако необходимо отметить, что наряду с этими системами имеются группы, состоящие почти исключительно из сверхгигантов. Примером такой группы 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 доклада об исключительном положении М 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 области изучения 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 спектроскопических данных (в направлении, указанном Морганом и Мэйолом) и количественного анализа спектрофотометрических кривых (Маркарян и др.).

Другой важный вопрос заключается в анализе природы рукавов галактик. При одной и той же степени раскрытости и длине рукавов богатство их ассоциациями 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 (SB). К сожалению, мы не представляем себе полностью, в чем разница между населением 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 являются M51 и галактика NGC 7752—7753. Естественно в таком случае считать, что здесь мы имеем дело со случаями, когда центры

подсистем разошлись. Хороший пример также IC 1613, где по одну сторону от основной массы галактики находится гигантский конгломерат горячих звезд, своего рода ассоциация, которую с одинаковым правом можно считать и частью основной галактики и отдельной галактикой-спутником. Вполне вероятно, что эта сверхассоциация, состоящая из горячих гигантов, образовалась гораздо позже, чем остальная галактика.

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.

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 иногда эти явления сопровождают 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 сопровождают друг друга.

Наконец, какой-либо спутник типа системы в Скульпторе, обращающийся вокруг основной галактики, мало 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 статических образованиях. Однако в галактиках, особенно в сверхгигантах, происходят также явления нестационарного характера, представляющие выдающийся интерес.

Мы не говорим здесь о процессах звездообразования в O- и T-ассоциациях, хотя они и имеют существенное значе-

ние 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 из радионаблюдений в линии 21 см. Точно такое же явление истечения газов из ядра М31 обнаружено Мюнчем в результате исследования линии  $\lambda$  3727. В обоих случаях интенсивность истечения достигает порядка одной солнечной массы в год. Этот результат странным образом не соответствует имеющимся оценкам масс галактических ядер (порядка  $10^7 M_{\odot}$ ).

б) *У некоторых галактик, обладающих ядрами высокой светимости, как показал Сейферт, эмиссионная линия  $\lambda$  3727 сильно расширена,* что соответствует скоростям движения порядка нескольких тысяч километров в секунду. Эти скорости превосходят обычные для галактик скорости отрыва. И поэтому, несомненно, мы имеем дело с мощными потоками вещества, вырывающегося из ядра со столь большими скоростями и затем рассеивающегося в межгалактическом пространстве. По-видимому, в этом случае количество истекающего вещества намного превосходит соответствующую величину для нашей Галактики и М31. Следует ожидать, что аналогичную природу имеют те из голубых галактик Аро, у которых эмиссионные линии интенсивны в околоядерной области.

в) *В самом центре радиогалактики NGC 4486 мы также наблюдаем линию  $\lambda$  3727 и, по-видимому, довольно сильное истечение газа со скоростью около 500 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 абсо-

лютных единицах, в десятки миллионов раз больше. Если учесть, что и длительность радиоизлучения в этом случае должна быть по крайней 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) *Что происходит в других радиогалактиках, гораздо труднее истолковать.* Мы знаем, однако, что как раз галактика NGC 1275 (Персей А) входит в число тех галактик Сейферта, в которых линия  $\lambda$  3727, 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 огромную активность вплоть до создания новых сгущений, новых подсистем, а возможно и новых галактик. Поэтому в данном случае мы можем смело говорить о *космогонической активности ядер*, хотя нам не 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  $-15^m$ , т. е. имеющими большую светимость, чем сгущение в NGC 4486. Примерами подобных галактик являются NGC 3561 и IC 1182. Выброс таких сгущений—еще один вид 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 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 пс—областью сильного нетеплового излучения. Эти факты говорят о том, что физическое состояние указанных ядер сильно отличается от состояния обычных звездных группировок.

Одна из важнейших задач, которые стоят перед нами в области изучения истечения вещества и выбросов из ядер галактик,—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, ограниченной известными нам формами энергии, 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 интересны, однако, два вида ак-

тивности ядер. Один из них связан с образованием спиральных рукавов, а 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, что 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 к 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 докладе на Сольвейской конференции 1958 года\*.

В свете упомянутых выше данных о выбрасывании из ядер сгустков, превращающихся затем 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

\* См. стр. 83 настоящего сборника.

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 и в отношении изучения активности ядер, все же 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). В связи с этим в этой области внегалактической астрономии имеется самое обширное поле исследования. Перечислим некоторые возникающие здесь вопросы.

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 большого влияния 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 галактики с кратными ядрами. Изучение лучевых скоростей отдельных компонент таких ядер.*

7. *Зависимость числа шаровых скопления 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 невозможно предвидеть, исходя из каких-либо теоретических предвзятых положений. Здесь мы снова сталкиваемся с поразительным явлением, постоянно повторяющимся в истории науки: когда она вторгается в новую область явлений, она находит неожиданные, качественно новые закономерности, выходящие за пределы прежних представлений, что 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.

*Примечание.* Доклад представляет собой одну из трех первых лекций, посвященных актуальным проблемам современной астрономии, организованных по решению МАС на его XI съезде в Беркли в 1961 г. для всех участников. С тех пор такие лекции, так называемые лекции по приглашению (Invited Discourse), стали наиболее выдающимися событиями на съездах МАС. В этом докладе В. А. Амбарцумян впервые дал космогоническое истолкование факту суперпозиции подсистем внутри галактик в свете представления об активности их ядер.

## НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ ГАЛАКТИК\*

Для рассмотрения проблем динамики скоплений и групп галактик необходимо знать их массы. Имеющиеся данные о массах галактик, к сожалению, скудны.

При определении звездных масс используются наблюдения орбитальных движений в двойных звездах. Большое число уже известных орбит визуальных и спектрально-двойных звезд составляет солидную основу наших знаний звездных масс. В противоположность этому, в двойных галактиках мы не в состоянии определять орбиты, а попытки статистического использования разностей лучевых скоростей в двойных галактиках встречаются со значительными трудностями при введении той или иной гипотезы о природе движения (эллиптического или гиперболического). Вот почему мы должны определять массы галактик по измерениям вращения и внутренних движений в данной галактике.

К сожалению, получаемые таким путем данные накапливаются очень медленно. Так, общепринятое в настоящее время значение массы нашей Галактики вполне возможно может оказаться ошибочным на множитель порядка двух. Значение массы Большого Магелланова Облака очень неопределенно. Очень ограничены по количеству наши знания относительно масс как гигантских, так и карликовых эллиптических галактик.

Тем не менее, имеющиеся данные позволили сделать следующие ценные выводы, касающиеся значений отношения  $f = M/L$ :

---

\* Instability Phenomena in Systems of Galaxies. Доклад на конференции по нестационарным явлениям в системах галактик в Санта Барбара (Калифорния, США), в августе 1961г. Опубликовано в трудах конференции: *Astronomical Journal*, 66, 536, 1961.

а) отношение  $f = M/L$  убывает по крайней мере в 10 раз при переходе от эллиптических галактик высокой светимости к спиральям и далее к иррегулярным галактикам;

б) отношение  $f$  не возрастает, а скорее всего убывает при переходе от сверхгигантских эллиптических галактик через гиганты к карликовым системам, как системы в Печи и Скульпторе.

В результате отношение масс, скажем, сверхгигантов и карликовых галактик оказывается больше, чем отношение их светимостей.

Так, например, сверхгигантская эллиптическая галактика NGC 4889 в скоплении *Coma* почти в миллион раз превосходит по светимости карликовую систему, обнаруженную Цвикки в Козероге, а отношение масс этих систем, возможно, гораздо больше.

Картина совершенно иная в случае звезд. Светимость здесь возрастает пропорционально относительно высокой степени массы. Это объясняет тот факт, что хотя светимости звезд могут различаться в сотни миллионов раз, их массы отличаются, самое большее, около тысячи раз, и большинство звезд имеет массы, отличающиеся от среднего не более чем в несколько раз.

Вследствие этого гравитационное поле в каком-либо звездном скоплении определяется почти в одинаковой мере как яркими, так и слабыми членами скопления. Это не имеет места, однако, в случае скоплений и групп галактик. Здесь карликовые галактики почти не имеют никакого влияния на структуру гравитационного поля, которая определяется, главным образом, небольшим количеством сверхгигантов и, частично, гигантскими галактиками.

Цвикки [1] оказал большую услугу, доказав монотонное возрастание числа галактик с убыванием светимости (монотонная форма функции светимости). Вероятно, такое возрастание имеет место в большинстве скоплений и групп галактик. Однако даже в случае относительно большого количества галактик низкой светимости, их влияние на структуру гравитационного поля внутри и вне скопления должно быть пренебрежимо мало. Достаточно сказать, что в Местной Группе полная масса, так же, как и гравитационное поле, определяется главным образом двумя членами: М31 и нашей Галактикой.

Это обстоятельство позволяет достичь определенного упрощения, решая задачи, касающиеся динамики скоплений галактик, сначала для небольшого числа их массивных членов.

Известно, что мы наблюдаем в большом количестве кратные галактики. Можно поставить вопрос о типе конфигурации этих систем, как это было с кратными звездами. Нашим целям больше всего подходит подразделение конфигураций на два типа: *обычные конфигурации и конфигурации типа Трапеции*. Последние определяются как кратные системы, в которых можно найти по крайней мере три члена, взаимные расстояния которых имеют одинаковый порядок величины. Эти конфигурации не могут быть устойчивыми и они распадаются за время порядка нескольких периодов обращения в системе.

Наблюдения указывают на то, что в *реальных звездных системах типа Трапеции* один из компонентов принадлежит спектральному типу О или В. Такие звезды образовались недавно и количество обращений, которое они совершили в системе, должно быть небольшим. Однако наблюдения показывают, что конфигурациями, подобными Трапеции, обладает также небольшое число кратных звезд поздних спектральных классов. Конечно, наблюдаемые нами на небе конфигурации являются проекциями истинных пространственных конфигураций. Поэтому, если даже *не существуют* реальные конфигурации типа Трапеции звезд поздних типов, то когда они проектируются на небо, появится небольшой процент ( $\sim 8\%$ ) *видимых* конфигураций типа Трапеции. Это почти в точности совпадает с процентом конфигураций типа Трапеции, наблюдаемых в случаях, когда компоненты кратных звезд не принадлежат спектральным типам О или В. Иными словами, среди кратных звезд поздних типов нет или почти нет *реальных* конфигураций типа Трапеции.

Совершенно противоположным является случай кратных галактик. Как указывалось в одной из наших работ [2], из 132 кратных галактик каталога двойных и кратных галактик Холмберга [3] 87 имеют конфигурации, которые несомненно должны быть отнесены к типу Трапеции. Таким образом, системы галактик типа Трапеции заметно преобладают и большинство кратных галактик образовались недавно, то есть их компоненты, начиная с момента образования системы, могли сделать *всего несколько оборотов*.

В этой связи необходимо сделать, однако, два замечания. 1) Периоды обращения в кратных и двойных галактиках должны быть порядка  $10^9$  лет. Поэтому и наблюдаемые нами кратные системы могут, вероятно, иметь возраст в  $5 \cdot 10^9$  лет или более. В смысле неустойчивости кратных систем галактики являются, вероятно, молодыми, хотя их возраст в некоторых случаях может быть в три или четыре раза больше, чем  $5 \cdot 10^9$  лет. 2) Неустойчивости конфигураций типа Трапеции еще не было дано четкого математического описания. Однако, исходя из простых рассуждений, должно быть очевидно, что вышеуказанное время распада (несколько периодов обращения) верно только для тех случаев, когда массы всех трех компонентов, на которых основана конфигурация типа Трапеции, являются величинами одного порядка, в противном случае система может существовать значительно дольше. Кроме того, компоненты должны иметь сравнимые светимости. Значительное количество наблюдаемых кратных галактик на самом деле удовлетворяет этому требованию. В частности, в таких системах, как Квинтет Стефана или Секстет Сейферта, разности в звездных величинах сравнительно малы. В противоположность этому конфигурации типа Трапеции, в которых один из компонентов намного ярче остальных (например, система M 31, M 32 и NGC 205), являются, по-видимому, гораздо более устойчивыми.

С другой стороны, имеются случаи, когда скопление галактик содержит значительное количество членов, три или четыре из которых заметно ярче, чем остальные (и поэтому содержат большую часть массы) и которые вместе составляют конфигурацию типа Трапеции. Рассматривая только взаимодействие этих более ярких галактик, можно утверждать, что такие системы должны быть неустойчивыми. Например, четыре галактики NGC 3681, 3684, 3686 и 3691 образуют типичную кратную систему типа Трапеции. Эта система включает в себя, по крайней мере, дюжину других, намного более слабых галактик, но система, очевидно, является неустойчивой. Галактики NGC 7383—7390 составляют часть маленького скопления, содержащего шесть ярких членов и более чем дюжину слабых компонентов. Яркие члены образуют систему типа Трапеции. Наконец, три галактики NGC 3613, 3619 и 3625 образуют маленькую группу, содержащую еще по крайней мере восемь более слабых объектов. В этом

случае имеются более слабые объекты со значительными угловыми диаметрами и низкой поверхностной яркостью. Мы снова имеем неустойчивую группу, хотя эта группа не является, очевидно, сама по себе скоплением, а образует конденсацию в Облаке Большой Медведицы.

Аргументы, представленные в наших предыдущих статьях, говорят в пользу *совместного образования* членов каждого скопления или физической группы галактик. Мы воздерживаемся от повторения этих аргументов, но поскольку мы все еще встречаем в отдельных статьях утверждения о возможности образования групп и скоплений галактик из независимых членов общего метagalактического поля, то выдвигаем один новый аргумент. Этот аргумент основывается на существовании систем из нескольких очень ярких галактик и большого числа слабых. В принципе возможно понять динамическое образование одной физической пары в результате случайной встречи трех галактик. Вообще говоря, эта пара в течение времени может захватывать также другие галактики. Однако между взаимодействующими галактиками должен иметь место обмен большими количествами энергии, и чтобы достичь этого, взаимодействующие галактики должны иметь массы одного порядка. Допустим, что кратная система из трех или более массивных галактик образовалась именно таким путем (хотя можно доказать, что это крайне невероятно); тогда ни одна галактика существенно меньшей массы (скажем, на два порядка меньше) не может быть захвачена такой группой, потому что обмен кинетическими энергиями в случае большого значения отношения масс всегда пренебрежимо мал. Таким образом, механизм захвата встречается с новыми трудностями при любой попытке объяснить существование галактик малой массы в группах или скоплениях. Эта трудность применима ко всем трем приведенным выше примерам кратных систем ярких галактик с дополнительным числом слабых членов, а также к случаю *пары* ярких галактик NGC 521, 533, которые имеют несколько очень слабых спутников.

Большое различие в распределениях ярких и слабых членов наиболее отчетливо видно в больших сферических скоплениях галактик. Яркие члены тесно сконцентрированы, тогда как слабые члены встречаются сравнительно чаще на периферии. Это явление было специально рассмотрено Цвикки, который показал, что скопление *Coma* имеет очень большие

размеры, если судить по распределению галактик низкой светимости. Однако положение совершенно иное в случае иррегулярных галактик. Согласно Ривсу [4], слабые галактики низкой поверхностной яркости в скоплении Девы проявляют приблизительно то же распределение и, следовательно, ту же степень концентрации, что и яркие галактики.

Такая картина имеет место также в случае объектов низкой поверхностной яркости и с малым градиентом плотности в хорошо известном скоплении в Печи. Как указал Ходж [5], поиски подобных объектов в соседних со скоплением областях привели к отрицательным результатам. Наконец, в отмеченном выше случае NGC 3613, 3619 и 3625 галактики низкой поверхностной яркости и низкой светимости не простираются дальше границ, определяемых группой ярких галактик.

Эти примеры свидетельствуют в пользу того, что равномерное распределение энергий между яркими и слабыми членами иррегулярных скоплений является несомненным и явления неустойчивости в иррегулярных галактиках выражаются гораздо отчетливее, чем в сферических скоплениях.

Существование большого количества конфигураций типа Трапеции означает, что многие из кратных галактик являются неустойчивыми образованиями. Если это так, то мы не имеем права *a priori* допустить, что кратные галактики должны быть системами с отрицательной энергией. В случае простых двойных звезд (мы исключаем O и B звезды) без каких-либо знаний об их орбитах можно утверждать, что большинство из них имеет отрицательные полные энергии. В действительности, если большинство кратных звезд имеет положительные полные энергии, то время распада будет всего несколько десятков тысяч лет, и пришлось бы допустить, что за такой период большинство кратных звезд замещается звездами нового поколения. Иными словами, положительная полная энергия приведет к ошибочному заключению о темпах звездообразования в Галактике.

В случае кратных галактик допущение положительной полной энергии для большинства из них уже не ведет к подобному ошибочному выводу. Выведенный таким способом возраст составляющих галактик лишь в несколько раз меньше возраста, принятого для нашей Галактики. Поэтому мы приходим к заключению, что знак энергии кратных галактик,

групп и скоплений галактик должен быть определен в каждом отдельном случае на основе наблюдательных данных.

Выдвинутые выше доводы поддерживают ту точку зрения, что допущение *a priori* положительной полной энергии в некоторых системах галактик не может рассматриваться более смелым, чем допущение о том, что почти все такие системы обладают отрицательной энергией. Тем не менее, рассмотрим факты. Данные показывают, что если для некоторых кратных систем допускается отрицательная полная энергия, то следует считать, что отношение  $f = M/L$  должно быть приблизительно на один порядок величины больше, чем следует из других данных. Так, в следующем докладе Каллогляна\* указывается на то, что кратная система, состоящая из NGC 68, 69, 71, 72 и одной анонимной галактики, приводит к значению  $f$ , большему чем 300, если она имеет отрицательную полную энергию. Для двойной галактики NGC 7385—7386 он нашел  $f$  больше 600.

Знак полной энергии Квинтета Стефана был определен нами и более подробно Дж. и Е. М. Бэрбиджами [6], что дало в результате положительную полную энергию. Позднее Лимбер и Метьюс [7] указали, что при определенных допущениях, когда массы компонентов полагаются очень большими, Квинтет может иметь отрицательную полную энергию.

Недавно, в результате детальных исследований, получен знак полной энергии нескольких скоплений галактик. Некоторые трудности обусловлены неопределенностью в знании точного значения  $f$  для гигантских эллиптических галактик. Полагают, что эта величина находится в пределах  $30 < f < 70$ . Однако не исключены редко встречающиеся большие значения ( $f \sim 100$ ), в частности, для ярчайших сверхгигантов ( $M \approx -21.5$ ). Нет непосредственных данных, которые дали бы нам возможность оценить значение  $f$  для этих ярчайших сверхгигантов. Естественно поэтому полагать, что знак полной энергии определяется с большой уверенностью в тех скоплениях и системах, в которых нет сверхгигантских эллиптических галактик. Положение может быть даже лучше для систем, не содержащих и гигантских эллиптических галактик, и поэтому чрезвычайную важность представляет установлен-

\* Astron. J., 66, 554, 1961.

ная де Вокулером [8] положительная полная энергия соседней системы галактик в Скульпторе.

Не меньшее значение имеет результат, полученный ван ден Бергом [9] относительно скопления галактик в Гончих Псах, хотя исследования по определению границ и отождествлению членов этого скопления должны быть продолжены.

Скопление Геркулеса, исследованное Дж. и Е. М. Бэрбиджами [10], содержит только небольшой процент ярких эллиптических галактик. Чтобы допустить отрицательную полную энергию этого скопления, мы должны приписать величине  $f$  значение порядка 300, что кажется невероятным. Контраст становится еще более резким в случае скопления в Деве. Допуская стационарность этой системы, мы должны признать, как показано де Вокулером [11], что  $f > 1000$ .

Можно предположить, что скопление *Coma* могло бы, возможно, иметь отрицательную полную энергию, если современная шкала расстояний Сандейджа будет изменена путем дальнейшего уменьшения постоянной красного смещения. С другой стороны, многие члены этого скопления являются эллиптическими галактиками умеренной светимости. Для них величина  $f$  не может быть очень большой, так что если скопление имеет отрицательную полную энергию, то особенно большое значение  $f$  должно быть приписано остальным сверхгигантским галактикам.

Естественно, что резкое расхождение между суммарными светимостями скоплений галактик и массами, определенными применением теоремы вирнала, вынудило некоторых авторов выступать в пользу гипотезы о существовании дополнительных масс в скоплениях, не составляющих части галактик-членов скопления, то есть о существовании межгалактической материи. Однако имеющиеся данные по верхнему пределу прозрачности в скоплениях галактик, так же, как и данные об излучении в 21 см не благоприятствуют этому.

Остается допущение о сравнительном богатстве межгалактического звездного населения в скоплениях. Такая возможность подробно обсуждалась де Вокулером по отношению к скоплению *Coma*. Результат отрицательный, если мы воздержимся от невероятно большого значения  $f$  для этого межгалактического звездного населения. Этот результат, очевидно, относится также и к другим скоплениям.

Таким образом, остается сделать только одно естественное предположение относительно упомянутых выше скоплений: они имеют положительные полные энергии. Необходимо подчеркнуть, что никакие аргументы не могут быть *a priori* выдвинуты против этого предположения.

Исследование структуры иррегулярных скоплений галактик приводит к выводу о том, что часто они состоят из нескольких наложенных группировок. Интересный пример такой группировки был указан Маркарянном несколько лет назад: цепочка ярких галактик в скоплении Девы, содержащая NGC 4374, 4406, 4438 и другие. Предполагается, что эта замечательная дуга из восьми ярких галактик представляет физическую группировку внутри скопления Девы. С другой стороны, факты относительно лучевых скоростей членов этой группы несомненно устанавливают ее положительную полную энергию.

Недавно я просматривал резюме последней статьи ван ден Берга, в которой предположение о том, что иррегулярные скопления состоят из отдельных подсистем и субскоплений, сделано в наиболее общей форме. Трудно переоценить значение этого явления в понимании эволюции скоплений галактик. В этом случае мы, очевидно, имеем последовательное образование относительно независимых подсистем (субскоплений), суперпозиция которых приводит к иррегулярным скоплениям. Возможно, что многие из этих подсистем имеют положительную полную внутреннюю энергию.

Значительный интерес представляют результаты определения среднего значения  $f$  по разностям лучевых скоростей в двойных галактиках, выполненного Пейджем [12], который получил  $f=1/3$  для спиральных и иррегулярных галактик и  $f=94$  для эллиптических и линзовидных. Эти величины выводятся при предположении, что в двойных галактиках движения происходят по круговым орбитам. То, что значение  $f$  для спиральных и иррегулярных галактик даже меньше, чем выведенное по вращениям одиночных галактик, означает, что все или почти все наблюдаемые тесные пары таких галактик составляют системы с отрицательной энергией. Сравним это с необычно большими значениями  $f$ , полученными на основе теоремы вириала для скоплений, состоящих из спиральных и иррегулярных галактик. Такое сравнение ведет к двум неизбежным выводам:

а) Все объяснения, принимающие во внимание отрицательную полную энергию скоплений и групп, состоящих из спиралей и иррегулярных галактик, становятся еще более невероятными, поскольку аргументы, приводимые в подобных случаях, применимы также к двойным галактикам.

б) Среди изолированных двойных галактик почти нет систем с положительной энергией, поскольку такие системы могут представлять *тесные* пары только в течение очень короткого времени (порядка  $10^8$  лет).

Если это так, то тогда двойные эллиптические системы также должны рассматриваться как системы, большей частью обладающие отрицательными энергиями, и значение Пейджа  $f=94$  может считаться близким к реальному значению. Это приближает нас к выводу, согласно которому скопление *Coma* может иметь отрицательную полную энергию.

Интересно заметить, что когда мы переходим от двойных галактик к кратным конфигурациям типа Тrapeции, разности скоростей составляющих становятся гораздо больше. Допущение отрицательных полных энергий таких конфигураций ведет к чересчур большим значениям  $f$ .

Говоря о нестабильности систем галактик, мы должны затронуть также *радиогалактики*, которые, как правило, встречаются в скоплениях галактик. Радиогалактики, по-видимому, всегда встречаются среди немногих ярчайших членов соответствующих скоплений. Лучший пример представляет радионисточник Персей А (NGC 1275), который является ярчайшим членом скопления в Персее.

В радиогалактике NGC 4486 из центрального ядра выброшена струя с отдельными сгущениями, светимости которых напоминают светимости карликовых галактик. Вероятно, эти конденсации содержат огромное количество релятивистских электронов. Однако трудно опровергнуть предположение, что в дополнение к релятивистской плазме эти сгущения включают в себя также существенное количество обычного вещества. В частности, они, вероятно, содержат в особенности *источники* релятивистских электронов.

Сильный аргумент в поддержку этой точки зрения представляется двумя галактиками (NGC 3651 и IC 1182), из ядер которых выбрасываются струи, содержащие голубые сгущения. Эти галактики с голубыми струями также находятся

среди ярчайших членов в соответствующих скоплениях. Наконец, имеются случаи, когда в окрестностях некоторых гигантских эллиптических галактик встречаются голубые компоненты, которые представляют, очевидно, более позднюю стадию в эволюции упомянутых выше голубых сгущений.

По всей вероятности, сгущения в NGC 4486 представляют более раннюю стадию эволюции тех же объектов. В таких случаях надо полагать, что интенсивность радиоизлучения голубых сгущений и голубых спутников уже ослабла.

С этой точки зрения интересно заметить, что очень близко к удаленной радиогалактике в Гидре, как это обнаружено в Бюракане, расположен голубой объект с фотографической величиной  $18^m.5$ . Показатель цвета этого объекта равен  $-0.5$ . На наших снимках он звездообразен (как и следовало ожидать при таком расстоянии, предполагая, что его диаметр меньше  $2000 \text{ лс}$ ). Если окажется возможным показать, что этот объект действительно является физическим спутником Гидры А, то это укажет на тесную связь между двумя типами эруптивной активности ядер сверхгигантских галактик: выбросами сгущений плазмы и выбросами голубых сгущений. Так или иначе, все данные указывают на то, что эта активность имеет очень важное значение в возникновении галактик.

Таким образом, мы приходим к выводу, что существуют скопления, которые находятся в особенно активной фазе эволюции, когда внутри них возникают новые галактики. Существование радиогалактики является индикатором такой фазы. Возможно, что даже при такой фазе радиоизлучение имеет место только время от времени с изменяющейся интенсивностью.

Хорошо известно, что в радиогалактике Персей А наблюдаются большие относительные скорости, вплоть до  $3000 \text{ км/сек}$ . Такие скорости превышают скорость ухода из скопления и таким образом сами по себе говорят о нестационарности.

Поэтому кажется, что исследование радиогалактик, как систем, из ядер которых выбрасываются большие массы или которые находятся в процессе деления, должно пролить новый свет на явления нестационарности в скоплениях галактик.

## ЛИТЕРАТУРА

1. F. Zwicky, Morphological Astronomy, Springer Verlag, Berlin, 1957, p. 220.
2. В. А. Амбарцумян, Изв. АН АрмССР, серия физ.-мат., естеств. и техн. наук, 9, 23, 1956.
3. E. Holmberg, Ann. Obs. Lund, No. 6, 1937.
4. G. Reaves, Ap. J., 61, 69, 1956.
5. P. Hodge, Publ. Astron. Soc. Pacif., 71, 28, 1959.
6. E. M. Burbidge, G. Burbidge, Astrophys. J., 130, 15, 1953.
7. D. Limber, W. Mathews, Astrophys. J., 132, 286, 1960.
8. G. de Vaucouleurs, Astrophys. J., 130, 718, 1959.
9. S. van den Berg, Astrophys. J., 131, 558, 1960.
10. E. M. Burbidge, G. Burbidge, Astrophys. J., 130, 629, 1959.
11. G. de Vaucouleurs, Astrophys. J., 131, 585, 1960.
12. T. Page, Proceedings of the Forth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, 1961.

## ОБСУЖДЕНИЕ

*Леметр* спросил, с необходимостью ли «положительная полная энергия» означает, что скопления разлетаются, или это может включать случай непрерывного обмена галактиками между скоплениями и полем.

*Амбарцумян* ответил, что положительная полная энергия—это предмет наблюдений и он может включать в себя обе возможности. Однако, если галактики в скоплении имеют общее происхождение, с чем согласны многие астрономы, тогда концепция обмена исключается, и скопления с положительной полной энергией должны быть просто расширяющимися или теряющими членов в общее поле.

*Пейдж* добавил, что казалось бы невероятным, что галактики поля могли бы собираться в скопления с положительной энергией.

*Леметр*, однако, утверждал, что такая концепция вероятности основывается на предвзятых представлениях о процессах при более ранних состояниях галактик.

*Поведа* коснулся Местной Группы галактик, где за центр масс может быть взят центр масс МЗ1 и Галактики (пре-небрегая массами других членов). Обнаружено, что шесть из

восьми членов, для которых имеются лучевые скорости, исключая тесные спутники М31 и Магеллановы Облака, приближаются к центру масс. Только NGC 598 и 6822 удаляются со скоростями в 14 и 110 км/сек, соответственно. Устойчивость Местной Группы более полно затронута Лимбером в другом докладе, приведенном ниже\*.

Отвечая Джасту, который заметил, что «расширение скопления» может просто означать, что его размеры возрастают по отношению к размерам галактик в нем, Амбарцумян сказал, что размеры расширяющегося скопления обычно возрастают быстрее, чем хаббловское расширение,  $V=Hr$ . Он подчеркнул также, что он не предполагает, что все скопления и группы галактик являются неустойчивыми.

Хекманн коснулся численных расчетов фон Хернера, показавшего, что система точечных масс может выбрасывать из себя членов, даже если она имеет отрицательную полную энергию, а Пейдж указал, что если не считать квазиустойчивые группы отрицательной полной энергии, то группы и скопления с постулированной положительной полной энергией требуют дальнейшего объяснения источника положительной энергии.

Амбарцумян ответил, что он хотел бы сначала установить случаи положительной полной энергии и исследовать обстоятельства, при которых это имеет место, перед тем как искать физическое объяснение первоначального источника.

*Примечание.* Исходным пунктом для развития представления о космогонической активности ядер галактик явился факт существования динамически неустойчивых, распадающихся систем галактик. Этот доклад содержит основные результаты исследований нестационарных систем галактик, возникших вследствие деления ядер или выбросов из ядер больших масс вещества.

\* Astron. J., 66, 572, 1961.

## СВЕРХАССОЦИАЦИИ В ОТДАЛЕННЫХ ГАЛАКТИКАХ\*

Как хорошо известно, Большое Магелланово Облако, кроме значительного количества обычных О-ассоциаций, содержит также некоторое количество больших по размерам объектов, сходных, однако, по своей природе с ассоциациями. Эти объекты Шепли назвал «созвездиями». Но большой комплекс 30 *Doradus* как по диаметру, так и по абсолютной величине намного превосходит все эти объекты. Для этого комплекса  $M = -15^m$ , а диаметр порядка 600 *пс*. Если принять, что средняя абсолютная величина ассоциаций в нашей Галактике равна  $-10^m$ , то оказывается, что светимость комплекса 30 *Doradus* в сто раз больше светимости обычных ассоциаций. Фотографии более отдаленных галактик показывают, что в них иногда встречаются комплексы, по светимости и размерам порядка 30 *Doradus*. Поэтому нам кажется целесообразным рассматривать эти комплексы как особый класс объектов и назвать их *сверхассоциациями*.

Частота встречаемости сверхассоциаций в галактиках в настоящее время изучается в Бюраканской обсерватории. На снимках, полученных на 21" рефлекторе системы Шмидта, сверхассоциации имеют почти звездообразные изображения, если расстояние соответствующей галактики превышает 15 миллионов *пс*. На снимках с малой экспозицией (несколько секунд) общий фон данной галактики не является помехой при фотометрических оценках, и изображение сверхассоциаций может быть сравнено с фокальными изображениями звезд в окрестности галактики или звезд стандартной области.

---

\* Superassociations in Distant Galaxies, Доклад на международном симпозиуме в Канберре, 18—28 марта, 1963г. Опубликован в трудах симпозиума: „The Galaxy and the Magellanic Clouds“. IAU—URSI Symposium 20, ed. F. J. Kerr and A. W. Rodgers, Australian Ac. Sci., Canberra, 1964, p. 122.

Ошибка определения звездных величин таким путем для более близких галактик может, однако, достичь  $0^m 5$ .

Мы приводим здесь лишь предварительные результаты обзора, основанного в целом на исследовании 55 галактик, в большинстве своем принадлежащих типу Sc. Эти галактики (за исключением двух) были выбраны из каталога Шепли-Эймс случайным образом, если не учесть того, что предпочтительнее отдавалось Sc галактикам, а E галактики вовсе не рассматривались.

В табл. 1 приведены номера NGC для 14 галактик, в которых обнаружены сверхассоциации. Сверхассоциациями считались сгущения с абсолютной величиной, превышающей  $-13^m 5$ . Естественно, мы не могли рассматривать как сверхассоциации яркие вытянутые отрывки спиральных ветвей.

Таблица 1  
Галактики со сверхассоциациями

NGC	Тип	$\bar{N}_{ca}$	$\bar{M}_{ca}$	$M_r$	$M_d$
1087	Sc	8	-14,9	-20,6	-15,9
1961	Sb	3	-15,8	-21,5	-17,1
2276	Sc	4	-15,2	-20,2	-15,9
3971	<i>Apo</i>	2	-17,2	—	нет
3995	Sc	4	-14,8	-20,3	-17,0
4303	Sc	4	-14,6	-21,6	-17,6
4496	Sbc	1	-14,9	-19,8	нет
4559	Sc	2	-13,6	-19,6	-14,1
5676	Sc	2	-15,5	-20,8	-16,0
5678	Sc	4	-17,5	-20,5	-15,8
6217	Sc	4	-14,5	-19,8	-16,6
6412	Sc	1	-15,5	-19,4	-15,8
6643	Sb	3	-14,8	-20,0	-15,4
7448	Sc	3	-15,0	-20,8	-16,2

Во втором столбце таблицы приведены типы галактик; в третьем—число сверхассоциаций в каждой галактике, в четвертом—средние абсолютные величины сверхассоциаций, в пятом—абсолютные величины галактик (принимается шкала расстояний Сандейджа) и в шестом—для сравнения абсолютные величины ядер галактик, определенные по тем же снимкам. Из данных этой таблицы выясняется, что сверхассоциации встречаются особенно часто в сверхгигантских галактиках с

абсолютной величиной  $-20^m5$  и больше. Из 35 наблюдаемых Sc галактик восемь галактик, содержащих сверхассоциации, имеют среднюю абсолютную величину, равную  $-20^m6$ , тогда как абсолютная величина Sc галактик, не имеющих сверхассоциаций, равна  $-18^m8$ . Что касается Sb галактик, то число наблюдаемых объектов в этом случае мало. Поэтому трудно говорить о наличии каких-либо различий. Однако нет сомнения, что Sb галактики, содержащие сверхассоциации, вместе с тем являются системами высокой светимости.

В табл. 2 приводятся числа ( $N$ ) всех наблюдаемых галактик, вместе с числом галактик, содержащих сверхассоциации ( $N_{ca}$ ), для трех различных интервалов абсолютных величин.

В последнем столбце приводится среднее число сверхассоциаций, приходящихся на одну галактику данного класса светимости. Эта таблица показывает еще убедительнее, что сверхассоциации встречаются почти исключительно в сверхгигантских галактиках.

По-видимому, картина несколько иная в случае иррегулярных галактик. Мы еще не исследовали этот вопрос детально, но галактика NGC 275 типа Aro, содержащая по меньшей мере пять сверхассоциаций и имеющая абсолютную величину  $-19^m0$ , свидетельствует о том, что в иррегулярных галактиках дело обстоит иначе. Это подтверждается также примером Большого Магелланова Облака.

Таблица 2  
Частота сверхассоциаций в Sc галактиках

Интервал $M$	$N$	$N_{ca}$	$\gamma^*$
$M > -20^m0$	21	3	0.5
$-20.5 < M < -20.0$	6	1	0.7
$M < -20.5$	8	6	3.1

\* См. текст.

Из работы Шепли и Параскевопулоса [1] стало очевидно, что большая часть светимости комплекса 30 *Doradus* сосредоточена в туманности. Однако 30 *Doradus* содержит также сотни голубых сверхгигантских звезд, причем наиболее богатое

скопление сверхгигантов находится в центре этого комплекса. В то же время необходимо отметить, что возраст сверхассоциаций, в целом, должен значительно превосходить средний возраст обычных ассоциаций. Это просто следует из того факта, что нижний предел продолжительности жизни подобного комплекса должен быть равным  $D/v$ , где  $D$  — диаметр комплекса, а  $v$  — значение средней относительной скорости в нем. Подставляя  $D=600$  пс и  $v=10$  км/сек, для нижней границы возраста мы получаем значение  $6 \cdot 10^7$  лет. Это, примерно, на один порядок больше возраста обычных О-ассоциаций и горячих сверхгигантов. Поэтому следует допустить, что голубые «сверхгиганты», наблюдаемые в сверхассоциациях, представляют собой лишь одно из многочисленных поколений этих объектов. За время жизни сверхассоциации в ней, вероятно, появляются много тысяч сверхгигантов, которые затем превращаются в другие звезды. Если учесть, что звезды типа Т Тельца обычно возникают в подобных комплексах и в гораздо большем количестве, то мы должны принять, что в сверхассоциациях возникают сотни тысяч звезд.

В 1939 году в книге «Теоретическая астрофизика» [2] мы сделали первую оценку массы 30 *Doradus* равной около  $2 \cdot 10^5 M_{\odot}$ . Четыре года тому назад Джонсон [3] в обсерватории Маунт Стромло снова оценил массу газа в этой туманности, которая оказалась равной  $5 \cdot 10^6 M_{\odot}$ . Следовательно неудивительно, что сотни тысяч звезд могут быть генетически связаны с этой туманностью.

В заключение я позволю себе еще одно замечание космогонического характера.

Если представить, что сверхассоциации образуются из газовых масс, распределенных внутри данной галактики, то следует думать, что в галактиках с большой общей массой приливные силы должны препятствовать образованию подобных больших комплексов. В галактиках с малой массой, наоборот, такой помехи не будет. Поэтому не следует ожидать наличия сверхассоциаций в гигантских галактиках. Фактически же мы наблюдаем обратную картину. Очевидно, это опровергает предположение о возможности возникновения сверхассоциаций из первоначальной материи, рассеянной по всей галактике.

Настоящая статья является предварительным сообщением о работе, проводимой в Бюракане совместно с Р. Шахбазян, С. Искударян и К. Саакян\*.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 H. Shapley, J. S. Paraskevopoulos, *Astrophys. J.*, **86**, 340, 1937.
- 2 В. А. Амбарцумян. Теоретическая астрофизика, М.—Л., 1939.
- 3 H. M. Johnson, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **71**, 425, 1959.

#### ОБСУЖДЕНИЕ

*Арп:* В Вашей таблице указаны сверхассоциации, по яркости достигающие  $M = -17^m.5$ . Каково, по Вашему мнению, различие между такой сверхассоциацией и такой галактикой, как Малое Магелланово Облако?

*Амбарцумян:* Мы должны принять во внимание цвет ассоциации и установить некоторый предел для ее абсолютной величины. Такие большие комплексы, как, например, комплекс в М51, должны быть, по-видимому, рассматриваемы как спутники галактик.

*Оорт:* Всегда ли эти ассоциации связаны со спиральными ветвями?

*Амбарцумян:* Некоторые из них расположены в спиральных ветвях, другие—между ветвями. В скоплении в Большой Медведице имеется случай, когда сверхассоциация расположена на конце ветви, несколько напоминая М51, но этот случай не приведен в таблице настоящей статьи.

*Бок:* Не было ли бы крайне желательным считать сверхассоциациями объекты, очень голубые в (U—В) и (В—V), чтобы исключить возможность их смешивания с объектами, сходными с Малым Магеллановым Облаком?

*Амбарцумян:* Да.

---

\* Более обстоятельное сообщение об этой работе опубликовано в «Сообщениях Бюраканской обсерватории» (33, 3, 1964).

*Аро.* Можете ли Вы рассматривать некоторые очень ультрафиолетовые ядра галактик как сверхассоциации?

*Амбарцумян.* Возможно, есть нечто общее между сверхассоциациями и этими ядрами.

*Аллер.* Самая яркая ассоциация в M33—NGC 604 очень напоминает 30 *Doradus*. Считаете ли Вы ее сверхассоциацией?

*Амбарцумян.* Я считаю, что NGC 604 лежит чуть ниже того нижнего предела, который соответствует нашему определению сверхассоциаций.

*Тиффт.* Сколько сверхассоциаций имеется в Большом Магеллановом Облаке?

*Бок.* Только одна—30 *Doradus*, так как остальные лишь несколько ярче обычных ассоциаций.

*Баскомб.* Наблюдались ли вспышки сверхновых или радиоизлучение в галактиках, содержащих сверхассоциации?

*Амбарцумян.* Не знаю.

*Блау.* В связи с предположением, что звезды (ассоциации) могут возникать из сверхплотных тел, я несколько озадачен со следующей точки зрения: предположение подразумевает, что сверхплотные тела расположены в плоскости галактики, ибо здесь мы находим ассоциации и сверхассоциации. Каким образом эти тела оказались в этой плоскости? Если мы представим себе, что звезды формируются из межзвездного вещества, то локализация ассоциаций в плоскости ясна, и концентрация газа в плоскости является результатом коллапса первоначального облака. Но мы не знаем никакого механизма, который привел бы первоначальное сверхплотное тело в плоскость; в этом случае можно скорее ожидать распределение, сходное с распределением звезд гало. Что Вы об этом думаете?

*Амбарцумян.* Конечно, мы не знаем сил, которые могут привести сверхплотные дозвездные образования к галактической плоскости, но возможно, что некоторый механизм существует.

*Фист.* Интересно отметить, что, кроме размеров, могут быть другие различия между сверхассоциациями, подобными 30 *Doradus*, и нормальными ассоциациями. Например, 30 *Doradus*, по-видимому, содержит гораздо более высокий процент звезд типа Вольф-Райе, чем исследованные до сих пор ассоциации в Галактике.

*де Вокулер.* Вы отметили, что 30 *Doradus* является сверхассоциацией, а NGC 604 — нет. Можете ли Вы дать точное определение сверхассоциаций?

*Амбарцумян.* Мы определяем сверхассоциации по абсолютной величине ( $M$  ярче  $-13^m.5$ ) и цвету. Нам кажется, что NGC 604 лежит где-то на границе между нормальными ассоциациями и сверхассоциациями.

*Примечание.* Это первое сообщение об исследовании сверхассоциаций—систем молодых звезд, значительно превышающих по своим размерам обыкновенные звездные ассоциации и содержащих несколько поколений недавно возникших звезд.

## МИР ГАЛАКТИК\*

Как вы все хорошо знаете, мы живем в Галактике. Галактика является огромной звездной системой, состоящей из многих десятков миллиардов звезд. Все эти звезды совершают довольно правильные движения вокруг *центра тяжести* Галактики. Довольно значительная часть из них совершает эти движения самостоятельно, независимо от соседних звезд, и в этом смысле они являются самостоятельными членами Галактики. Однако больше половины всех звезд составляют пары, тройки, а иногда и более богатые группы, составляющие которых совершают совместное движение вокруг центра Галактики. Поэтому каждая составляющая, скажем, двойной звезды, совершает два движения: одно сравнительно короткого периода вокруг центра тяжести пары, а другое, период которого длится десятки миллионов лет,—вокруг центра Галактики.

Наше Солнце является одиночной звездой. Мы ее можем считать равноправным членом Галактики. У нее нет скольконибудь *солидных компаньонов*, если не считать планеты и кометы, *суммарная масса* которых *пренебрежимо мала* по сравнению с Солнцем.

Очень небольшая часть звезд Галактики входит в состав звездных скоплений. Последние иногда содержат по несколько сот и даже несколько тысяч членов. Звездные скопления могут рассматриваться как весьма массивные составляющие Галактики.

Наша Галактика имеет весьма *сплюснутую* форму. Длина ее большой оси превосходит 60 000 световых лет. Вдоль спиральных линий, выходящих из центра Галактики, сосредото-

---

\* Общедоступная лекция, прочитанная в Канберре в марте 1963 г., в период симпозиума «Галактика и Магеллановы Облака» в актовом зале Австралийской Академии наук.

точены группы *голубых звезд* высокой светимости. Если какой-либо наблюдатель посмотрит на нашу Галактику изда-дека, то эти группы ярких объектов будут выделяться на общем фоне звездного поля. Их совокупность составит картину *ярких спиральных* рукавов голубого цвета. Поэтому говорят, что наша Галактика является спиральной звездной системой. Но это ни в коем случае не означает, что спиральные рукава содержат большую часть массы Галактики. Масса этих рукавов, вероятно, не превосходит двух или трех процентов массы всей Галактики. Однако голубые звезды, входящие в состав этих рукавов, *излучают* очень много энергии. Их светимость не пропорциональна их массе, а гораздо больше. Именно поэтому спиральные рукава бросаются в глаза воображаемому внешнему наблюдателю, несмотря на то, что их масса составляет весьма малую долю массы Галактики.

Находясь здесь, в Австралии, будет очень к месту напомнить, что у нашей Галактики имеются два спутника, которые являются звездными системами, содержащими много сотен миллионов звезд. Это *Большое и Малое Магеллановы Облака*. Это самые близкие к нам внешние галактики. По размерам они значительно меньше нашей Галактики. Следует, однако, заметить, что по разнообразию входящих в них объектов, звезд и туманностей, они ничем не уступают нашей Галактике. Более того, они содержат объекты таких видов, которых нет в нашей Галактике. В качестве примера можно привести шаровые скопления голубого цвета. С другой стороны, мы не можем указать в Галактике объекты, для которых в Магеллановых Облаках нет аналогов. Это я говорю к тому, чтобы укрепить сомневающимся в убеждении, что в Австралии стоит заниматься астрономией. Если же говорить серьезно, то следует выразить большую признательность астрономам всего мира австралийским астрономам, которые сделали очень много для познания этих двух интереснейших объектов Вселенной.

Удаляясь от границ нашей Галактики гораздо дальше, чем расстояние Магеллановых Облаков, иными словами, удаляясь на много сотен тысяч, миллионы и десятки миллионов световых лет, мы вступаем в огромный мир многочисленных галактик, расположенных там и здесь, как острова в безбрежном мировом пространстве. Это значит, что вещество Вселенной не распределено в пространстве равномерно, а

сосредоточено в *дискретных*, изолированных друг от друга звездных системах—галактиках. Каждая из этих систем обладает очень значительной степенью автономности в том смысле, что движение звезд в каждой из галактик происходит лишь под влиянием действующих в ней сил. Как правило, эти движения почти не зависят от воздействия внешних галактик. Галактики также можно считать *замкнутыми системами* в том смысле, что обмен веществом между данной галактикой и остальными галактиками, так же как и с *межгалактическим пространством* незначителен, по крайней мере в течение большей части жизни данной галактики.

Итак, Вселенная вокруг нас—это совокупность дискретных, почти замкнутых и автономных галактик. Поэтому важнейшей задачей астрономии является изучение свойств галактик и связей между ними.

Упомянем здесь некоторые наиболее общие данные, полученные современной астрономией относительно свойств галактик и связей между ними. После этого я хотел бы перечислить некоторые удивительные загадки внегалактической астрономии, которые еще ждут своего окончательного решения.

## 1. МОРФОЛОГИЯ ГАЛАКТИК

Разнообразие форм галактик очень велико. Поэтому все попытки построения классификации форм галактик встречали значительные затруднения. Даже после самой полной классификации встречающихся внешних форм галактик все же остается довольно большое число редко встречающихся форм, не укладывающихся в основную схему классификации. Все же большинство галактик в первом *грубом приближении* может быть расположено в линейную и непрерывную последовательность форм, впервые предложенную американским астрономом Хабблом. Схема этой последовательности такова: сферические галактики—эллиптические галактики, *дискообразные галактики*—спиральные галактики—иррегулярные галактики.

Сферические, эллиптические и дискообразные галактики отличаются тем свойством, что в них плотность звезд меняется непрерывно, убывая монотонно от центра к краям. В них нет каких-либо резко очерченных деталей, максимумов

или минимумов яркости, кроме максимума, иногда очень резкого, в центре галактики.

Переход от дискообразных галактик к спиральным заключается в появлении спиральных рукавов голубого цвета и темных мест, вызванных наличием облаков из *космической пыли*. В первых подразделениях класса спиральных галактик *суммарная яркость* спиральных рукавов мала и они сильно *закручены* вокруг центра. В последующих подразделениях относительная доля светимости галактики, обусловленная рукавами, возрастает, и, наконец, мы переходим к таким галактикам, у которых светимость рукавов составляет большую часть светимости рассматриваемой галактики. При этом мы наблюдаем все меньшую *закрученность* рукавов, увеличение их ширины и растущую *клочковатость*, доходящую до того, что уже трудно проследить каждый отдельный рукав вдоль всей его длины. Все более выделяются большие группы горячих гигантских звезд, получившие название звездных ассоциаций. Здесь происходит переход к галактикам неправильной формы, у которых уже подавляющая часть светимости обусловлена теми деформированными образованиями и *клочками*, которые приходят на смену спиральным рукавам.

Приведенное выше описание последовательности форм галактик является крайне схематичным и не может дать представления о действительном разнообразии этих форм.

## 2. КЛАССЫ СВЕТИМОСТИ

Как ни велико разнообразие форм галактик, делающее внегалактическую астрономию одним из самых интересных разделов естествознания, все же еще большие различия мы наблюдаем в величине светимости галактик. Речь идет не о видимом блеске, а именно о силе света, испускаемого совокупностью звезд и туманностей каждой галактики. Если принять светимость Солнца за единицу, то светимости наиболее ярких сверхгигантских галактик составляют десятки миллиардов и даже до ста миллиардов единиц. Затем идут гигантские галактики со светимостью в несколько миллиардов единиц. Галактики умеренной светимости светят силою в несколько сот миллионов единиц. За ними идут галактики-карлики—силою светимости от миллиона до ста миллионов единиц, а затем субкарлики или «пигмеи», сила света

которых заключена между десятью тысячами и одним миллионом. Мы видим, что самые яркие галактики имеют светимость, примерно в десять миллионов раз превосходящую светимость наиболее *слабых*. Поскольку светимость обусловлена звездами, то она в известной мере выражает и количество звездного населения в галактике.

Если бы средняя светимость звезд, заключенных в разных галактиках, была бы одинакова, то светимости галактик были бы строго пропорциональны числам звезд в них. Однако имеются веские основания считать, что сверхгигантские галактики относительно более богаты слабосветящимися звездами. Поэтому контраст между сверхгигантскими галактиками и галактиками-*субкарликами* в отношении чисел звезд гораздо резче, чем в отношении светимостей. Самые богатые звездами сверхгиганты должны содержать примерно в сто миллионов раз больше членов, чем субкарлики.

Очевидно, что галактики-гиганты и сверхгиганты играют во Вселенной иную роль, чем галактики, бедные звездами. Поэтому интересно отметить, что в каждом классе светимости встречаются галактики различной формы, а в каждом морфологическом классе—галактики весьма различных светимостей. Так, например, эллиптические галактики встречаются во всех классах светимости. Их морфологическая противоположность—иррегулярные галактики тоже встречаются во всех классах светимости. Спиральные галактики встречаются, начиная от класса умеренных светимостей до сверхгигантов. Однако и среди карликов встречаются галактики со следами спиральной структуры.

Стоит рассмотреть вопрос, насколько часто встречаются галактики различных светимостей. Наблюдения показали, что число галактик растет с уменьшением их светимостей. Сверхгигантские галактики встречаются реже всего, карлики и субкарлики—чаще всего.

Очевидно, однако, что гигантские галактики, благодаря своей большой светимости, могут наблюдаться нами на огромных расстояниях. Так, крайние сверхгиганты могут быть обнаруживаемы оптическими телескопами на расстояниях до 6 миллиардов световых лет, а радиотелескопами—еще дальше. А слабые субкарлики—только на расстояниях до полумиллиона световых лет. Поэтому число известных нам субкарликов очень мало. Между тем, их реальное число в

единице объема в тысячи раз превосходит число сверхгигантов. Интересно, однако, что, несмотря на обилие карликовых галактик, большинство звезд Вселенной, как показывают подсчеты, входит не в карликовые галактики, а в гиганты и сверхгиганты. Следовательно, эти гигантские и сверхгигантские галактики содержат в себе большую часть массы Вселенной. Положение аналогично тому, что имеет место на Земном шаре: хотя малых государств во много раз больше, чем крупных, все же в шести крупнейших по населению странах мира проживает больше половины человечества.

### 3. РАЗНЫЕ ТИПЫ НАСЕЛЕНИЯ ГАЛАКТИК

Не все звезды, населяющие галактики, одинаковы. Звезды также отличаются друг от друга светимостью. У них бывают различные массы, радиусы, температуры и скорости вращения вокруг своей оси. В каждом районе данной галактики мы имеем некоторое статистическое распределение этих величин, характеризующих звезды, то есть имеем некоторую статистику звездных типов. Одни из них встречаются чаще, другие реже, некоторые совсем не встречаются. Если во всех районах данной галактики это распределение одинаково, то мы говорим, что галактика однородна с точки зрения состава населения. В этом смысле очень близки к однородности сферические, эллиптические и дискообразные галактики. В частности, состав населения таких звездных систем характеризуется тем, что в них не встречается голубых гигантских звезд. Что касается спиральных галактик, то в них уже встречаются голубые гиганты, но, как мы видим, они расположены главным образом в спиральных рукавах. Таким образом, разные районы таких галактик имеют различный состав населения. Еще более сложную картину мы встречаем в иррегулярных галактиках, где неправильности строения сочетаются с большими различиями в составе звездного населения. Как известно, *Магеллановы Облака* являются иррегулярными галактиками, и следует признать, что вопрос об изменении состава звездного населения вдоль объема каждой из этих систем пока еще не решен полностью, хотя этому вопросу были посвящены многочисленные исследования, в которых собраны ценные данные. Таким образом, мы видим, что состав звездного населения довольно сильно зависит от морфологи-

ческого типа и должен рассматриваться в тесной связи с морфологической классификацией галактик.

#### 4. ЯДРА ГАЛАКТИК

Одной из морфологических характеристик галактик является наличие или отсутствие в них ядер. Оказывается, что в центре большинства гигантских или сверхгигантских галактик наблюдаются ядра, диаметры которых иногда в десятки раз, а в других случаях в сотни тысяч раз меньше диаметров самих галактик. В этом отношении особенно поучительна ближайшая к нам сверхгигантская система в Андромеде. В центре ее находится довольно резко очерченное эллиптическое ядро, большая ось которого равна  $2''.5$ , в то время как видимый большой диаметр всей галактики значительно больше трех градусов. Иными словами, линейные размеры ядра в несколько тысяч раз меньше, чем линейные размеры галактики. Что касается светимости ядра, то она у этой галактики примерно в десять тысяч раз меньше *интегральной светимости* всей системы. Что касается нашей Галактики, то ее ядро закрыто от нас поглощающими облаками. Но через эти облака проникает *радиоизлучение ядра*. Это позволяет оценить ее размеры. Они оказываются того же порядка, что и в галактике Андромеды, возможно немного больше. Можно умножить число примеров, когда ядро занимает лишь ничтожную часть объема галактики. Наконец, существуют галактики, у которых нельзя обнаружить ядро, несмотря на то, что они близки к нам. В этом отношении прекрасным примером является Большое Магелланово Облако. У большинства карликов также нет ядер.

Наряду с этим встречаются галактики, у которых эти центральные резко очерченные ядра имеют гораздо большие размеры. Примерами являются NGC1068 и NGC4303. По оценкам моих коллег в Бюраканской обсерватории ядро галактики NGC4303 только в 50 раз слабее всей галактики, а диаметр достигает примерно двух тысяч световых лет. Эта галактика NGC 4303, имеющая столь яркое ядро, принадлежит к морфологическому типу Sc. Но оказывается, что в том же морфологическом типе Sc встречаются галактики, вовсе не имеющие ядер (например, NGC3556) или имеющие столь слабое ядро, что его трудно обнаружить.

Таким образом, хотя присутствие или отсутствие ядра и величина ядра являются важными морфологическими величинами, они мало коррелированы с установленными морфологическими классами.

Изучение вращения ядра галактики в Андромеде позволило установить, что оно имеет массу, равную около десяти миллионов  $M_{\odot}$ . Это в десятки тысяч раз меньше полной массы самой галактики.

Кажется, что на эти сравнительно малые по объему, светимости и массе объекты можно было бы обращать меньше внимания. Однако наблюдения показывают, что, как правило, в спиральных галактиках спиральные рукава берут начало непосредственно из этих ядер. Внешнее впечатление таково, что ядра являются тем источником, из которого вытекает вещество спиральных рукавов. Но, конечно, это впечатление еще не есть доказательство. При этом следует учесть, что масса спиральных рукавов часто в десятки раз превосходит массу ядер. Поэтому утверждение об истечении вещества рукавов из ядер потребовало бы допустить, что материал ядра постепенно пополняется. Между тем, трудно найти источник для такого пополнения.

В этом свете большой интерес представляет установление спектрографическим путем истечения вещества из ядра галактики Андромеды (Мюнч) и радиоастрономическим методом истечение газов из центральных областей нашей Галактики (группа Оорта в Голландии). Создается впечатление, что ядро, несмотря на свою малую массу, играет важнейшую роль в создании морфологического типа данной галактики и вообще в ее эволюции. Если это так, то не исключено, что галактики, не имеющие в настоящее время ядер, когда-то обладали ими. Но эти ядра прекратили свое существование после определенного периода активности, связанной с *выбросом вещества*.

О глубоких процессах, происходящих в ядрах галактик, говорят новейшие данные о «радиогалактиках».

## 5. РАДИОГАЛАКТИКИ

Многие галактики дают заметное радиоизлучение. Однако имеется небольшой процент галактик, радиоизлучение которых во много раз выше среднего. Такие галактики полу-

чили название радиогалактик. Про остальные галактики говорят, что они испускают нормальное радиоизлучение. Как наша Галактика, так и ее ближайшие соседи являются нормальными галактиками. Наличие особо сильного радиоизлучения указывает, что радиогалактики находятся в состоянии, отличном от обычного состояния галактик. Оптическое исследование радиогалактик выявило целый ряд интересных фактов. В частности, было установлено, что многие радиогалактики показывают некоторые признаки двойственности. Например, Бааде установил, что у радиогалактики в *Лебеде* имеется два ядра. Радиогалактика в *Центавре*, особенно подробно изученная австралийскими астрономами, представляет в оптических лучах как бы наложение двух галактик—большой эллиптической галактики, в центре которой помещена спиральная галактика несколько меньших размеров.

Другим интересным фактом является наличие в спектрах радиогалактик ярких *эмиссионных линий*, что указывает на присутствие больших газовых масс, атомы которых ионизированы и сильно *возбуждены*.

Упомянутые мною признаки двойственности, наблюдаемые в радиогалактиках, а также их сравнительная редкость привели Бааде и Минковского к заключению, что каждая радиогалактика представляет собой редкое столкновение двух галактик. Это мнение широко распространилось и особенно часто излагалось в популярных журналах. Однако сразу же после первых отождествлений радиогалактик с оптически наблюдаемыми галактиками в Советском Союзе было обращено внимание на то, что интенсивные радиогалактики являются почти исключительно сверхгигантами\*. Между тем, последние встречаются редко и поэтому вероятность столкновения двух сверхгигантов очень мала. Если бы радиогалактики были бы результатом столкновения двух галактик, то среди них должны были бы преобладать карлики. По этой, а также по многим другим причинам гипотеза столкновения была отвергнута. У нас возникла другая гипотеза, согласно которой превращение обычной галактики в радиогалактику есть результат активности ядра галактики\*\*. Речь идет о такой

\* В. А. Амбарцумян, ДАН Арм. ССР, 32, 161, 1956.

\*\* Первые сообщения о новой гипотезе В. А. Амбарцумяна о природе радиогалактик были опубликованы в 1955 г. (см. стр. 72 настоящего сборника и примечание к этому сообщению).

активности ядра, при которой либо оно делится на две части, либо же выбрасывает наружу значительные массы вещества. В частности, из выбрасываемого вещества образуется большое облако или даже два облака электронов высокой энергии. Эти электроны, двигаясь в магнитных полях, создают мощное радиоизлучение.

В некоторых случаях, например в радиогалактике *Дева А*, мы прямо наблюдаем как выброшенные сгустки, так и распространившиеся по всей галактике релятивистские электроны.

Эта точка зрения предполагает, что превращение галактики в радиогалактику является лишь одной из форм активности ядер. С одной из других форм этой активности мы познакомились выше, когда говорили о непрерывном истечении газов из ядер галактик.

## 6. СКОПЛЕНИЯ И ГРУППЫ ГАЛАКТИК

Выше отмечалось, что галактики являются в известной мере изолированными автономными системами. Однако, наряду с этим, следует отметить, что галактики, вообще говоря, составляют скопления и группы, между которыми существует физическая связь. Так, например, наша Галактика вместе со своими спутниками—Магеллановыми Облаками входит в состав *Местной Группы* галактик. В Местную Группу входит также галактика в Андромеде. К настоящему времени не все члены Местной Группы выявлены. Не очень точно известны и ее границы. Однако уже теперь ясно, что это очень бедная группа, имеющая в своем составе всего два-три десятка членов. Наряду с такими бедными группами встречаются богатые скопления галактик, в том числе и такие, которые содержат тысячи и десятки тысяч членов. Каждая галактика в таком скоплении движется как целое, под влиянием притяжения совокупности других галактик. Но как звездная система каждая галактика сохраняет свою автономию, так как остальные члены скопления оказывают лишь незначительное влияние на внутренние движения в ней.

Американский астроном Цвикки обратил внимание на то, что иногда галактики, входящие в состав того или иного скопления, связаны между собой слабосветящимися *мостами* или *волоконками*. Имеющиеся данные говорят о том, что эти

мосты и волокна состоят из звезд. Здесь мы имеем дело с некоторым нарушением свойства *замкнутости*, о котором говорилось выше. Можно предполагать, что эти мосты и *перемычки* являются следами процесса совместного происхождения данной пары галактик, или даже всего скопления галактик. С течением времени галактики должны удалиться друг от друга, и эти перемычки перестанут существовать. Поэтому следует наложить некоторое ограничение на представление о замкнутости галактик. По-видимому, это представление неприменимо в наиболее ранних стадиях жизни галактик.

## 7. КРАСНОЕ СМЕЩЕНИЕ

Одним из наиболее важных фактов внегалактической астрономии является наблюдаемое удаление от нас отдаленных галактик. Так же, как и для других светил, мы можем определить скорость удаления или приближения галактик к нам на основе *принципа Доплера* из спектральных наблюдений. Согласно этому принципу, спектральные линии известных нам элементов, например водорода или кальция, смещаются к красному концу спектра, если светило удаляется от нас, и к фиолетовому концу, если оно приближается к нам. Оказалось, что среди галактик, находящихся на расстояниях больше трех миллионов световых лет, подавляющее большинство показывает красное смещение, а среди галактик с расстояниями, измеряемыми десятками миллионов и больше световых лет, практически нет таких, которые бы к нам приближались. Все они от нас удаляются. Чем дальше галактика, тем больше красное смещение. Это значит, тем больше скорость удаления. Определив на основании принципа Доплера скорости удаления большого числа галактик, Хаббл установил свой знаменитый эмпирический закон, согласно которому скорость удаления возрастает приблизительно пропорционально расстоянию.

Очевидно, для установления своего *позарительного закона* Хаббл должен был уметь определить расстояния галактик. На самом деле, однако, определение расстояний галактик до нас представляет собой труднейшую задачу, и надо признать, что прогресс в области уточнения расстояний галактик совершается медленно. Замечательным образом, однако, сам закон

Хаббла, если он уже установлен, помогает нам в деле определения этих расстояний, ибо если красное смещение пропорционально расстоянию, то, наблюдая красное смещение для данной галактики, мы можем определить ее расстояние. Однако для этого нужно знать коэффициент пропорциональности в законе Хаббла, который носит название постоянной Хаббла.

В принципе дело происходит таким образом: пусть в отдаленных галактиках имеются объекты одинакового типа и пусть у нас имеется достаточно основания считать, что эти объекты во всех галактиках имеют одинаковую светимость. Тогда, определив из наблюдения, что в галактике  $B$  эти объекты в  $k$  раз слабее, чем в галактике  $A$ , мы можем сказать, что  $B$  находится от нас в  $\sqrt{k}$  раз дальше, чем  $A$ . Итак, если расстояние галактики  $A$  принять за единицу, расстояние галактики  $B$  оказывается равным  $\sqrt{k}$ . Таким образом, мы можем в принципе определить расстояние различных галактик в этих единицах, хотя абсолютное значение этой единицы остается неизвестным. Измерив, с другой стороны, красные смещения для тех же галактик, мы можем сказать, действительно ли скорость удаления пропорциональна расстоянию. Повторяю, это мы можем делать, несмотря на то, что расстояние известно нам лишь в *относительных единицах*. Именно такая проверка показала, что закон Хаббла соблюдается с большой точностью почти до пределов расстояний, достижимых с помощью современных телескопов. Однако для абсолютного определения расстояний нужно было выяснить, чему равна принятая единица длины. В нашем примере это будет расстояние до галактики  $A$ . Тем самым будет определено абсолютное значение постоянной закона Хаббла. Таким образом, вопрос о точной формулировке закона Хаббла и о шкале расстояний галактик, то есть вопрос о масштабе Вселенной, теснейшим образом переплелись между собой.

Я не могу здесь остановиться подробно на всей истории этого вопроса. Но из сказанного вы уже видели, что весьма существенно знать расстояние хотя бы одной галактики. Должен вместе с тем оговориться, что благодаря ряду усложняющих обстоятельств этого еще недостаточно. Естественно, что взор исследователей вновь и вновь обращается к Магеллановым Облакам, к задаче определения их расстояний. Классические работы Шепли и Бааде послужили основой для

решения этого вопроса. И сейчас мы уверены, что расстояния Облаков почти наверняка заключены между 160 тысячами и 200 тысячами световых лет. Для более точного определения постоянной Хаббла оказалось необходимым иметь также хотя бы один объект, достаточно далекий от нашей Местной Группы галактик, абсолютное расстояние которого хорошо определено. За такой объект можно принять, например, скопление галактик в Деве. Благодаря оценке Сандейджа (Паломарская обсерватория), это расстояние считается равным приблизительно 50 миллионам световых лет. Если принять эту оценку за основу, то закон Хаббла можно выразить в следующей форме:

*При увеличении расстояний на один миллиард световых лет скорость удаления галактик увеличивается на 22 тысячи километров в секунду.*

Самая удаленная галактика, спектр которой удалось наблюдать, удаляется от нас со скоростью около ста сорока тысяч километров в секунду. Это значит, что она удалена от нас на шесть миллиардов световых лет с лишним.

Для профессиональных астрономов моего поколения как определение абсолютных расстояний галактик, так и установление закона Хаббла означало крупнейшие достижения внегалактической астрономии. Однако неастроном считает, вероятно, проблему расстояний техническим вопросом, между тем как закон Хаббла поражает его воображение. Именно поэтому этот закон стал предметом многочисленных дискуссий не только для астрономов, но и для физиков, философов и вообще образованных людей.

В самом деле, если максимальная определенная нами скорость удаления галактики равна 140 000 км/сек, то очевидно, что дальнейшие открытия с помощью больших инструментальных средств приведут к открытию скоростей, близких к скорости света. Вместе с тем, это означает, что окружающая нас область Вселенной расширяется с такой огромной скоростью и что за 15 миллиардов лет она расширится в два раза. Еще более поразительные выводы получаются, если заглянуть в прошлое.

Поэтому были сделаны попытки объяснить красное смещение в спектрах отдаленных галактик не эффектом Доплера, а различными иными способами. Все эти попытки оказались безрезультатными. С другой стороны, некоторые теоретики,

основываясь на законе Хаббла и на ряде других очень грубых и произвольных предположений, построили гипотетические модели Вселенной, которые, по-видимому, отражают некоторые свойства реальной Вселенной. Но характер этих моделей настолько зависит от сделанных упрощающих предположений, что эти модели следует считать очень далекими от реальности. Что касается меня лично, то я думаю, что на современном этапе этих теоретических работ даже не имеет смысла подробно сравнивать эти модели с наблюдениями.

Вопрос о красном смещении подробно излагается во многих популярных книгах и лекциях, поэтому я на нем остановился сравнительно коротко, тем более, что, по моему мнению, внегалактическая астрономия ставит перед нами и другие, не менее поразительные и не менее глубокие проблемы, которые, однако, не так широко разрекламированы в печати, как проблема красного смещения.

#### 8. НЕУСТОЙЧИВОСТЬ СКОПЛЕНИИ

Как мы уже упоминали, большинство галактик входит в различные скопления и группы. Согласно закону Хаббла эти скопления и группы удаляются от нас со скоростями, зависящими от расстояний. Но опыт показывает, что скорости удаления различных галактик, входящих в одно и то же скопление, не точно равны друг другу, а несколько различаются. Казалось, что эти различия легко могут найти объяснение. Дело в том, что в любом скоплении объектов, подчиняющихся закону *всемирного притяжения*, отдельные члены скопления должны совершать движения вокруг центра *тяжести*. При этом их скорости, отнесенные к центру тяжести, могут быть направлены и к нам и от нас. Эти относительные скорости прибавляются к скорости скопления или вычитываются из нее, в зависимости от знака. От этого и возникают различия между наблюдаемыми *лучевыми скоростями* членов одного и того же скопления. Изучая эти различия, мы можем сказать, как велики относительные скорости.

Но тут возникает очень важный вопрос. Дело в том, что эти относительные скорости должны быть настолько малы, чтобы силы *взаимного притяжения*, действующие в скоплении, могли бы удерживать скопление от распада. Грубо говоря, для каждого скопления существует некоторая верхняя граница

для средней скорости его членов, зависящая от массы и диаметра скопления. Если фактическая средняя скорость превосходит эту границу, то скопление должно распасться. Изучая радиусы и массы скоплений (которые, правда, определяются большей частью не прямыми средствами), мы можем оценить приближенно значение указанной критической средней скорости и сравнить с наблюдаемой средней величиной относительных скоростей.

Изучение этого вопроса показало, что для многих известных скоплений галактик наблюдаемое значение средней относительной скорости гораздо больше предела, о котором мы говорили. Отсюда прямо вытекает, что все эти скопления галактик неустойчивы и распадаются. Получается, что за несколько сот миллионов лет каждое из этих скоплений должно превратиться в более *разреженную группу*, а за несколько миллиардов лет совершенно распасться, если только в скоплении не будут возникать новые галактики. Такой вывод об очень неустойчивом состоянии многих скоплений галактик, может быть даже большинства их, является не менее разительным, чем вывод, касающийся проблемы красных смещений. Поэтому естественно, что и в этом случае появились попытки найти какое-либо другое объяснение наблюдаемой большой дисперсии лучевых скоростей галактик в одном и том же скоплении. Однако ни одну из них нельзя считать удовлетворительной. Например, предлагают допустить, что в каждом скоплении галактик имеется большая масса *несветящегося вещества*, во много раз больше, чем светящаяся масса. Однако никаких подтверждений это предложение не нашло. С другой стороны, изучение многих кратных галактик, то есть систем, состоящих всего из нескольких членов, показало, что большинство их обладает конфигурациями, характерными для нестабильных систем. Поскольку это заключение достигнуто независимо от определения лучевых скоростей, то оно является новым независимым свидетельством в пользу неустойчивости групп и скоплений галактик вообще.

Хотя, как указывалось выше, факт неустойчивости скоплений галактик кажется поразительным, однако более глубокое рассмотрение вопроса показывает, что в нем нет ничего удивительного. Правда, мы привыкли, что наблюдаемые внутри галактики *звездные группы*, такие, как кратные звез-

ды, звездные скопления, являются неустойчивыми. Но особенности систем, члены которых взаимодействуют по *закону тяготения Ньютона*, приводят к тому, что система приобретает устойчивость или неустойчивость в эпоху своего возникновения.

Возникшая неустойчивая система не может в дальнейшем спонтанно стать устойчивой, если только члены системы не теряют в короткий срок большую часть своей массы. Если так, то мы можем предположить, что возникшие в галактике звездные группы могут с самого начала быть как устойчивыми, так и неустойчивыми. Может быть даже устойчивых групп возникает больше, чем неустойчивых. Но неустойчивые группы очень быстро распадаются; они распадаются за время очень короткое по сравнению с продолжительностью жизни галактики. А устойчивые системы остаются. Поэтому подавляющее большинство наблюдаемых звездных групп устойчиво.

Только сравнительно недавно было показано, что в Галактике существуют также распадающиеся, неустойчивые группы звезд. Это звездные ассоциации и кратные звезды типа *Тrapeции Ориона*. К сожалению, отсутствие времени не позволяет мне остановиться здесь на их свойствах. Здесь, однако, важно, что таких неустойчивых систем в Галактике мало, как и следовало ожидать.

Совсем другое положение в мире галактик. Для распада даже малых, небогатых систем там требуются сотни миллионов лет, а для распада больших скоплений иногда даже миллиарды лет. Эти сроки уже сравнимы со временем жизни галактик. Поэтому естественно ожидать, что число неустойчивых групп может быть того же порядка, что и число устойчивых групп. Таким образом мир галактик во много раз богаче неустойчивыми явлениями, чем, скажем, наша звездная система—Галактика. Это делает внегалактическую астрономию еще более интересным предметом изучения.

## 9. ПРИРОДА ЯДЕР

Выше мы уже говорили о ядрах галактик. Данные радиоастрономии свидетельствуют о том, что из ядер возможен выброс огромных газовых масс. Данные оптической астрономии подтверждают это заключение. Поэтому возникает вопрос, какими свойствами должно обладать ядро для

того, чтобы были возможны такие выбросы. Если каждое ядро представляет собой некоторую систему звезд, расположенную внутри своей галактики, как желток помещается в яйцо, то трудно ожидать, что будут происходить столь грандиозные выбросы, масса и энергия которых во много раз превышает массу и энергию отдельных звезд. Кажется, что в ядре должны быть тела, которые по своей природе отличаются от звезд. Иначе как можно объяснить, что подобные выбросы не происходят в периферийных частях галактик?

С другой стороны, наблюдения показывают, что ядра по своему цвету и спектральному составу оптического излучения мало отличаются от окружающего звездного поля галактик. Обычно мы имеем такую картину: при переходе от периферии к центральным частям Галактики она краснеет, а ядро в свою очередь несколько краснее, чем окружающие его части галактики. Таким образом, следовало бы думать, что звездное население ядра мало отличается от звездного населения окружающей области. В таком случае следует допустить, что оптическое излучение ядра обусловлено обычными звездами, однако оно содержит и другое вещество, может быть какие-либо *дозвездные тела*, которые ответственны за описанные выше необычные процессы.

В тех галактиках, которые содержат очень большие, гигантские ядра, согласно данным спектральных наблюдений, происходят весьма интенсивные движения газов. Скорости этих движений превышают часто тысячи км/сек. Это указывает, что такие ядра находятся в стадии быстрых изменений. Вероятно, ядра галактик имеют свои, неизвестные пока нам законы эволюции, а их активность влияет на эволюцию самих галактик. Возможность деления ядер, о которой говорилось выше, но которая еще не доказана, указывает еще на другую роль ядер. Речь идет о возможности образования таким образом новых галактик. И поскольку наиболее активные ядра наблюдаются у галактик-сверхгигантов, мы должны допустить, что сверхгиганты могут играть важную роль в эволюции всей совокупности галактик, являясь как бы генератором других, меньших звездных систем.

Здесь мы входим в область предположений. И хотя эти идеи кажутся нам очень привлекательными, все же здесь

мы не будем их дальше развивать. Остановимся, однако, несколько дальше на проблеме сверхгигантских галактик.

#### 10. ПРОБЛЕМА СВЕРХГИГАНТСКИХ ГАЛАКТИК

Для того, чтобы выяснить роль сверхгигантских галактик, рассмотрим случай Местной Группы галактик. Можно показать, что масса галактики Андромеды превышает массу всех остальных галактик Местной Группы, взятых вместе. Это означает, что большая часть массы Местной Группы сконцентрирована в сверхгигантской галактике Андромеды. Сходное положение мы имеем в случае многих других небольших групп и скоплений.

С другой стороны, в случае богатых скоплений мы имеем более одного сверхгигантского члена, но в то же время кажется почти определенным, что каждое богатое скопление состоит из некоторого числа подскоплений или групп. Мы можем описать это положение, констатируя, что богатое скопление может быть представлено как суперпозиция некоторого числа подскоплений. На этой стадии наших знаний о скоплениях галактик трудно привести к соответствию эти подскопления со сверхгигантскими членами того же скопления. Однако, по крайней мере в некоторых случаях, кажется определенным, что данный сверхгигант окружен некоторым числом более слабых галактик, таким образом составляя подскопление в богатом скоплении.

Обычно каждая сверхгигантская галактика имеет центральное ядро. Во всяком случае, мы не знаем какую-либо сверхгигантскую галактику, не имеющую ядра, хотя имеется много случаев, когда мы не можем наблюдать ядра из-за дальности галактики. Поэтому кажется естественным допустить, что образование подскопления, связанного с данной сверхгигантской галактикой, является результатом активности ядра сверхгиганта.

Тот факт, что во многих случаях радиогалактика, имеющая очень активное ядро, обычно представляет собой наиболее выдающийся член группы или даже скопления, в которое она входит, может служить доказательством в пользу этой точки зрения. Однако, конечно, мы должны быть очень осторожны, войдя в дальнейшие спекуляции. Так что лучше ждать

накопления новых данных относительно скоплений и природы ядер.

В заключение я хотел бы обратить ваше внимание на следующую фундаментальную проблему. Мы видели, что почти все звезды Вселенной содержатся в галактиках. В то же время большинство звезд предпочитает быть членами сверхгигантских галактик. Но в чем причина такого предпочтения? Почему материя Вселенной имеет тенденцию составлять такие большие системы? Как должна быть объяснена эта тенденция? Мы пока не имеем ответа на эти вопросы. И мне кажется, что эта проблема даже глубже, чем проблема красного смещения.

Сотни миллионов удаленных галактик находятся теперь в пределах досягаемости крупнейших современных телескопов. Только для тысячи из них мы имеем надежные данные об их спектрах, красных смещениях и светимостях. Постоянный поток информации приходит из обсерваторий всего мира. Эта информация поможет нам решить проблемы, описанные выше, и многие другие. Интернациональное сотрудничество может ускорить прогресс в этой области. Очень приятно констатировать здесь, что такое интернациональное сотрудничество в астрономии в настоящее время действует удовлетворительно. Будем надеяться, что это сотрудничество будет прогрессировать в будущем и приведет к новым успехам в этой увлекательной области.

*Примечание.* Настоящая лекция дает общее представление о работах В. А. Амбарцумяна по внегалактической астрономии. В ней многие важнейшие результаты, относящиеся к галактикам и их физическим системам, излагаются в доступной для широкой публики форме.

## НЕКОТОРЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ О ПРИРОДЕ ЯДЕР ГАЛАКТИК\*

В настоящее время считается несомненным, что явление радиогалактик тесно связано с процессами, протекающими в ядрах галактик. Поэтому кажется целесообразным сделать здесь несколько общих замечаний о ядрах галактик.

В нашем Сольвейском докладе в 1958 г. и в лекции на съезде в Беркли (1961) мы пытались показать, что многие явления, наблюдаемые нами в настоящее время в галактиках, мы можем свести к *активности ядер*. Предполагалось, что благодаря такой активности ядро играет существенную роль в образовании и эволюции соответствующих галактик. В то время общее впечатление было такое, что мы сильно переоцениваем роль ядер в эволюции галактик. Однако в свете последних достижений мне кажется, что в этом отношении мы были скорее осторожны.

Наша информация о происходящих в радиогалактиках процессах все еще очень ограничена. Тем не менее, мы можем с определенностью говорить, что явление радиогалактики должно рассматриваться как одна из форм активности ядра.

Имеются также несколько других форм активности ядер галактик. Их описание приведено в моем докладе в Беркли.

Поскольку ядра удаленных галактик обычно имеют очень малые угловые размеры, большей частью ниже предела разрешения наших снимков, и поскольку во многих случаях мы даже не можем различать их на фоне общего поля данной галактики, то чрезвычайно трудно судить о природе ядер.

---

\* Some Remarks on the Nature of the Nuclei of Galaxies. Сообщение на объединенной дискуссии E (Радиогалактики) на XII съезде IAU в Гамбурге, 27 августа 1964 г. Опубликовано в трудах съезда IAU: Transactions of the IAU, 12B, Academic Press, London—New York, 1966, p. 578.

Конечно, спектральные данные очень важны и во многих случаях они дают большое количество информации. Поэтому мы не должны считать положение безнадежным, имея в виду, что в случае звезд (исключая наше Солнце) мы по существу находимся в таком же положении.

Первой проблемой, которая возникает при изучении ядер, является проблема их населения. Являются ли ядра простыми звездными системами, подобно шаровым скоплениям, обладающими некоторой степенью динамической автономии, или они содержат что-либо еще? Если они не являются простыми звездными системами, то какие тела другого рода они содержат в себе?

В свете имеющихся в настоящее время свидетельств мы можем допустить, что в каждом ядре имеются три возможные составные части: звезды, газ и сверхмассивные незвездные тела, которые ответственны за необычные энергетические формы активности ядер, а также за возникновение газовых масс.

В зависимости от состояния активности ядра одна из этих составляющих может стать более выдающейся, чем другие. Например, в ядрах, которые находятся в состоянии низкой активности (пассивные ядра) в оптической области больше всего дает себя знать звездная составляющая. Я не собираюсь вдаваться в детали, но мне кажется, что может быть разработана классификация ядер на основе этих общих представлений.

Одним из преимуществ, которое мы имеем при исследовании ядер галактик, является то, что мы всегда можем сравнить состояние ядра с состоянием окружающей галактики. И это может привести нас к некоторым ценным выводам. Если состояние галактики определяет состояние ее ядра, то мы можем ожидать один тип корреляции между параметрами, описывающими оба состояния. Однако, если активность ядра сама имеет первостепенное значение и влияет на всю историю развития окружающей галактики, то мы должны иметь корреляцию другого типа.

Выбор параметров, описывающих галактики и ядра, с целью исследования корреляции между ними, является делом удобства и наблюдательных возможностей. Например, мы можем попытаться обнаружить корреляцию между интегральными абсолютными величинами галактик и их ядер.

Гораздо проще исследовать корреляцию между следующими двумя параметрами: а) морфологический тип галактики и б) некоторое число, оценивающее степень выделения его ядра на фоне при наблюдении с данным разрешением и в пределах определенного интервала расстояний от наблюдателя. Естественно, что предпочтительнее брать узкий интервал таких расстояний.

Некоторая работа в этом направлении в настоящее время проводится в нашей обсерватории на пластинках небольшого масштаба, полученных на нашем Шмидт-телескопе средних размеров (21 дюйм).

Числа, оценивающие степень выделения ядра, видимого на фоне галактики, объясняются в табл. 1.

Таблица 1  
Степень выделения ядер на изображениях галактик

Балл	Изображение центральной части	Интерпретация
1	В центре нет заметных конденсаций	Нет ядра
2	Слабая конденсация в центре	Возможно, существует ядро
3	Сильная концентрация в центре, но не имеется звездообразного изображения	Ядро определенно существует, но не может быть отличимо от фона
4	Звездообразное ядерное изображение при коротких экспозициях, но туманное при больших экспозициях	Ядро видно на фоне плотных частей балджа
5	Звездообразное ядерное изображение, даже когда экспозиции отличаются от предельной	Яркое ядро, которое отчетливо выделяется на фоне

На рис. 1 приводятся гистограммы, которые дают распределение оценок для каждого подтипа класса спиральных галактик с перемычкой, полученные нашими астрономами Товмасыном и Каллогляном из их наблюдений\*.

\* См. Сообщ. Бюраканской обс., 36, 31, 1964.

Мы видим, что распределения сильно различаются для различных подтипов. Следовательно, морфологический тип галактики определяет вероятность обладания более или менее заметным ядром.

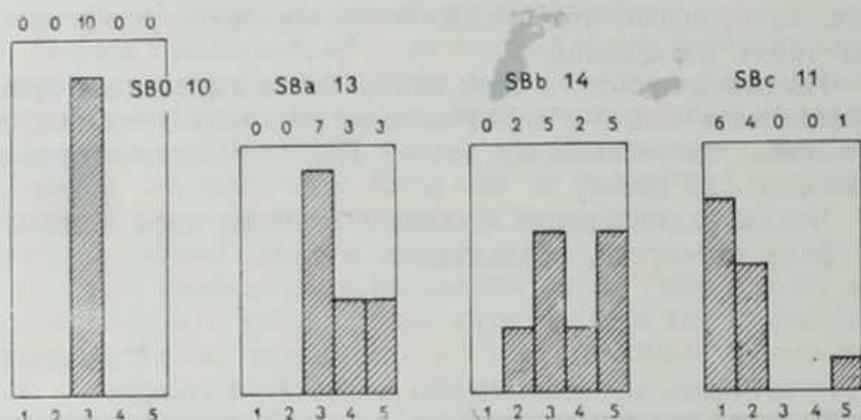


Рис. 1.

Гистограммы, показывающие оценки выделения (рельефности) ядер для различных подтипов галактик с перемычкой. Под диаграммами даны значения оценок, а сверху—количества соответствующих галактик. Под буквами, обозначающими подтип, дано полное количество галактик этого подтипа.

Однако это не означает, что состояние галактики определяет состояние ядра. Чтобы показать это, мы взяли из той же работы Товмасына и Каллогляна абсолютные величины ядер, имеющих оценки 4 и 5, и сравнили их с абсолютными величинами соответствующих галактик (рис. 2). Для менее выдающихся ядер мы не можем вывести их абсолютные величины, как это следует из объяснений табл. 1. Но они определенно должны быть расположены в нижней части рис. 2. Таким образом, мы можем быть уверены, что корреляция между  $M_r$  и  $M_b$  действительно очень слабая.

Конечно, преждевременно идти дальше в интерпретации этих данных. Но мы можем надеяться, что, имея больше данных об интегральных свойствах ядер (величины, цвета,

спектры), мы будем в гораздо более выгодной позиции при суждении об их природе. И это, возможно, поможет нам

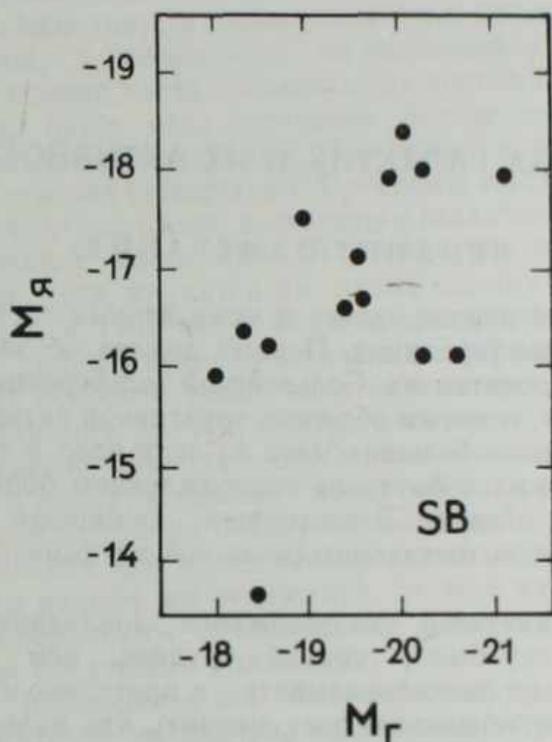


Рис. 2.

Корреляция между фотографическими абсолютными величинами галактик ( $M_r$ ) и их ядер ( $M_n$ ) для SB галактик. Показаны только галактики с оценками 4 и 5. Галактики с оценками 3 расположатся где-то в нижней части диаграммы, тем самым увеличивая дисперсию точек.

лучше понимать ядра, которые способны производить явление радиогалактики.

*Примечание.* Более обстоятельное рассмотрение вопросов, изложенных в настоящем сообщении, содержится в докладе В. А. Амбарцумяна на 13-й Сольвейской конференции в 1964 г. (см. следующий доклад настоящего сборника).

## 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 прекрасная работа Сандейджа и Линдса относительно галактики M82, я думаю, что уже нет места для сомнений на этот счет.

С другой стороны, доступная теперь информация о галак-

---

\* On the Nuclei of Galaxies and their Activity. Доклад на XIII Сольвейской конференции в Брюсселе в сентябре 1964 г. Опубликован в трудах конференции: *The Structure and Evolution of Galaxies*, Interscience Publishers, London—New York—Sydney, 1965, p. 1.

\*\* В напечатанном английском тексте имеется сноска: «под «обычным веществом» Амбарцумян понимает «нерелятивистскую плазму».

тиках 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 сольвейском 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.

Поэтому нам кажется, что астроном, привыкший изучать и анализировать факты, должен сосредотачивать 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 излучению 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 M82. 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 3 000 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. М31, NGC 5194, М33 и, возможно, наша Галактика входят 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 SBb, NGC 3504 имеет диаметр порядка 100 пс, 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, которое отличается, но мало, от звездного населения 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  $10^6 M_{\odot}$ . 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 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 M82 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 всегда очень скудна. Вот почему даже 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 ближайšie 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 значения 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 сотен 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 определенно 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

Оценка	Образец (вид изображения центра)	Интерпретация
1	Нет заметной конденсации в центре	Нет ядра
2	Слабая конденсация в центре	Возможно, имеется ядро
3	Сильная концентрация в центре, однако нет звездообразного изображения	Определенно имеется ядро, однако оно неразличимо 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

\* В английском издании доклада гистограммы отсутствуют. Здесь мы их не восстановили, имея в виду, что они приводятся в предыдущем сообщении настоящего сборника (см. стр. 198).

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 M32, 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 достаточно богатым звездным населением. С увеличением активности ядер повышается их 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.

---

\* См. сноску на стр. 197.

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 ядра 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 возбуди-

ла 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 *пс* 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 неизолированных 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 должна 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 возможной 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 НЕТЕПЛОМ 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, она может излучаться непосредственно этими частицами.

2) Наличие мощного ультрафиолетового 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  $H_{\gamma}$  в некоторых участках M82. 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. Новиков, 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.

## О Б С У Ж Д Е Н И Е

*Р. Оппенгеймер.* Не правда ли, что если наблюдаются неядерные характеристики галактик, то они не определяют свойств ядра?

*В. Амбарцумян.* Это важный вопрос, и, насколько мы можем судить по данным, представленным во второй половине моего доклада, корреляция ядерных характеристик с характеристиками всей галактики иногда (для некоторых типов галактик) очень слаба.

*Л. Спитцер.* Какие наблюдательные характеристики были использованы для классификации галактик как «объектов типа М82»?

*В. Амбарцумян.* Иррегулярная форма и присутствие сильного внутригалактического поглощения. Но, чтобы быть беспристрастным, я использовал классификацию де Вокулера.

*Р. Минковский.* Я хотел бы добавить несколько замечаний о гигантских Е-галактиках. При просмотре крупномасштабных снимков можно видеть различные случаи, начиная от сильного центрального пика, иногда содержащего, возможно, отдельное маленькое ядро, до довольно широкого центрального максимума.

Дисперсия радиальных скоростей в системах с сильными центральными пиками обычно меньше, чем в системах, которые показывают только широкий максимум и где наблюдается дисперсия лучевых скоростей в 700 км/сек или больше. Ярчайшие галактики в скоплениях принадлежат к этому второму виду; так как многие радиогалактики являются ярчайшими галактиками в скоплениях, то они также имеют тенденцию быть в этом классе.

*В. Амбарцумян.* Можете вы видеть ядро NGC 4486 на снимках 200" телескопа?

*Р. Минковский.* NGC 4486 имеет сильный пик интенсивности. В эмиссионной линии  $\lambda$  3727 маленькое ядро очевидно: в непрерывном спектре не легко определить, имеется ли ядро или только высокий пик. NGC 6166 определенно имеет широкий максимум интенсивности: маленькое звездное ядро,

вероятно, видимое только в линии  $\lambda$  3727, было наблюде-  
но Е. М. Бэрбидж.

Дисперсия скоростей и распределение интенсивности  
несут информацию о массе. Отсутствие фотометрических  
данных не позволяет в настоящее время делать каких-либо  
заклучений о массах.

*Е. М. Бэрбидж.* Некоторые из ядер голубоватого цвета,  
относящиеся к описанному проф. Амбарцумяном классу 3,  
находятся в быстром вращении, в частности, некоторые из  
спиральных галактик с перемычкой. Ядро NGC 1097, как это  
показано, например, в Кейпском атласе южных галактик, на  
снимках с короткой экспозицией состоит из маленького круг-  
лого ядра, состоящего, вероятно, из звезд и окружающего  
кольца, судя по спектру, содержит много газа и находится в  
быстром вращении. Ядро NGC 1365 не проявляет такой струк-  
туры, однако быстро вращается, и градиенты скорости при  
различных позиционных углах показывают, что во вращении  
имеется компонент некругового движения. Радиус всей струк-  
туры в обоих случаях достаточно большой—порядка сотен  
парсеков.

Из относительных интенсивностей эмиссионных линий  
можно заключить, что возбуждение в газе, вероятно, обуслов-  
лено O- и B-звездами. Нам кажется, что голубоватый цвет  
(также и в NGC 3504), возможно, обусловлен значительным  
количеством таких звезд. Однако само внутреннее ядро в  
NGC 1097 имеет, вероятно, звездное население позднего типа.

*Ф. Хойл.* Если эллиптические галактики являются моло-  
дыми, то, мне кажется, мы должны признать, что их звездные  
населения не могут быть II типа в смысле Бааде, то есть  
они не могут иметь диаграмму цвет—величина, сходную с той  
же диаграммой для шаровых скоплений. Причина этого в том,  
что эти диаграммы принадлежат звездам с массами порядка  
солнечной массы, а для них эволюционное время жизни  
большое. Может быть наиболее чувствительную проверку  
масс можно сделать по звездам горизонтальной ветви. Вычис-  
ления д-ра Дж. Фолкнера показали, что массы должны быть  
меньше солнечных, если звезды расположены слева от гори-  
зонтальной ветви в послегелиевых вспыхивающих стадиях.

Резюмируя, можно сказать, что если правильно, что  
некоторые эллиптические галактики являются молодыми, то,

я думаю, мы должны признать, что их население не может быть населением нормального типа II.

*Б. Стремгрен (Хойлу).* Не прокомментируете ли Вы возможность значительной потери массы в процессе той стадии эволюции, когда звезда находится близ своей наивысшей светимости, и об изменениях в расчетных возрастах звезд горизонтальной ветви, которые получатся, если принять во внимание такую потерю массы?

*Ф. Хойл.* Чтобы уменьшить возраст до  $10^8$ — $10^9$  лет, как того требует д-р Амбарцумян, начальная масса должна превышать  $2 M_{\odot}$ . При этом будет подразумеваться потеря массы, превышающей  $M_{\odot}$ , что кажется высоким. По моему мнению, начальные массы звезд шаровых скоплений не превышают  $M_{\odot}$ , так что я подозреваю, что потеря массы очень небольшая.

*Л. Бирман (Е. М. Бэрбидж).* Какая масса получается из Ваших данных для вращающихся ядер галактик с диаметрами в несколько сот парсек, о которых Вы упоминали?

*Е. М. Бэрбидж.* Массы, грубо оцененные в кеплеровском приближении по максимальной разности скоростей, порядка  $10^9$  солнечных масс.

*Дж. Р. Бэрбидж (Амбарцумяну).* Я хотел бы для уяснения спросить о причинах, побудивших Вас заключить, что возраст M82 только порядка  $10^8$  лет. Это основано на Вашей интерпретации динамических аргументов, согласно которым Вы полагаете, что M82 уходит из группы M81, или Вы используете аргументы о том, что форма M82 и бурная активность в этой галактике предполагают, что она молодая?

*В. Амбарцумян.* Я использую только динамический аргумент.

*Я. Г. Оорт.* В свете большой важности вывода относительно возможно очень молодого возраста этих галактик мне кажется нужно рассмотреть возможность того, что в системе галактик M81-M82 имеется большая масса, чем указывается светящимися галактиками.

*В. Амбарцумян.* Конечно, оценка возраста M82, которую я привел, основана только на том, что она имеет скорость

большую, чем скорость ухода из группы М81. Все члены группы М81-М82 хорошо известны, и поэтому верхний предел светящейся массы может быть уверенно определен. Любые оценки несветящейся массы будут совершенно произвольны. Моя идея заключается в том, что М81 может быть намного старше М82 и что только М82 (и, может быть, NGC 3077) произошли недавно.

*Б. Росси, Л. Бирман и Л. Волтер* свои выступления посвятили обсуждению вероятной интерпретации галактических источников рентгеновского излучения.

*Примечание.* В этом докладе впервые подробно рассмотрены наиболее характерные формы активности ядер галактик и разработаны принципы классификации галактик по степени различимости их ядер на общем звездном фоне центральной области. Целью такого подхода является изучение природы ядер на основе предполагаемой связи между интегральными характеристиками ядер и соответствующих галактик.

## ОБ АКТИВНОСТИ ЯДЕР ГАЛАКТИК\*

До последнего времени астрономы обращали относительно мало внимания на ядра галактик. Это, по-видимому, было вызвано двумя причинами. С одной стороны, их трудно изучать, так как мы их наблюдаем на ярком фоне центрального сгущения соответствующей галактики. Иногда они совершенно теряются на этом фоне, и о них вовсе нельзя получить никакой информации. С другой стороны, роль ядер в жизни соответствующих галактик недооценивалась. Ничего не было известно об активности ядер.

В настоящее время положение дел изменилось. Ядра галактик привлекают всеобщее внимание. Причину многих явлений в галактиках мы теперь видим в активности ядер. В докладе на съезде МАС в Беркли мы позволили себе назвать эту активность «космогонической». Дело в том, что благодаря активности ядра в окружающей галактике появляются новообразования. За прошедшие после Беркли пять лет стали известны новые факты, подтверждающие космогонический характер указанной активности. Однако для краткости удобнее говорить просто об «активности» ядер.

§ 1. Уже давно известно, что некоторые из ближайших к нам галактик (члены Местной Группы) имеют небольшие по размерам центральные ядра. Радиусы их измеряются всего несколькими парсек. Из них самой высокой фотографической светимостью ( $M = -12$ ) обладает ядро М32.

Вне Местной Группы наряду с такими ядрами встречаются ядра гораздо более высокой светимости. Иногда и радиусы ядер бывают большими, доходя до сотен парсек. Очевидно,

---

\* Вводный доклад на симпозиуме Международного астрономического союза по нестационарным явлениям в галактиках в Бюракане, в мае 1966 г. Опубликовано в трудах симпозиума: Нестационарные явления в галактиках. АН Арм. ССР, Ереван, 1968, стр. 11.

что ядра низкой светимости, такие, как у M31, NGC 205, было бы трудно и даже практически невозможно обнаружить на расстояниях, превышающих 10 мегапарсек.

§ 2. Вместе с тем, известны галактики, у которых, несмотря на весьма благоприятные условия наблюдений, ядра не наблюдаются. К числу таких галактик принадлежат Большое и Малое Магеллановы Облака, системы в Печи и Скульпторе.

Для того чтобы можно было решить на основе наблюдений, имеет ли данная галактика ядро, желательно иметь какое-либо *рабочее определение ядра* галактики, тем более что различные авторы приписывают слову «ядро» различный смысл.

§ 3. Очевидно, что определение ядра должно быть выбрано так, чтобы оно охватывало приведенные примеры.

Можно условиться считать, что галактика имеет ядро, если выполняется одно из следующих условий:

а) на фоне неразрешимой на звезды центральной части галактики наблюдается звездообразный объект;

б) если центральная часть разрешается на звезды, то имеется звездообразный объект, значительно превосходящий по светимости (скажем, не менее, чем на три величины) наиболее яркие из звезд;

в) в центральной части галактики имеется протяженный объект высокой поверхностной яркости с большим значением градиента на его границе:

$$-\frac{d \log I}{d \log r}.$$

Если не выполняется ни одно из этих условий, это еще не означает, что у галактики нет ядра. В таком случае мы можем лишь констатировать, что мы его не наблюдаем.

§ 4. К сожалению, мы лишены сколько-нибудь подробной информации о геометрической структуре ядер, поскольку единственное ядро, которое имеет достаточный для подробного изучения угловой диаметр,—ядро нашей Галактики—закрывается от нас поглощающими облаками. Можно, однако,

надеяться, что в ближайшие годы мы будем иметь возможность определить распределение оптической яркости по диску нескольких протяженных ядер, таких, как у NGC 1068, NGC 3504 и аналогичные.

Точно так же интересные данные следует ожидать от наблюдений ядра нашей Галактики в сантиметровых волнах при высоком угловом разрешении.

Если же исключить эти надежды, то можно сказать, что в отношении ядер галактик мы находимся в таком же положении, как в отношении звезд, т. е. мы должны рассматривать их как точечные объекты.

А это означает, что изучение ядер галактик должно основываться главным образом на определении их интегральных характеристик: интегральных звездных величин, интегральных спектров, цветов, радиовеличин, диаметров и т. д.

С другой стороны, огромное косвенное значение для познания природы ядер галактик имеет исследование результатов их активности. Например, мы не можем прямо наблюдать ядро галактики M82 на фоне ее центральной части. Но известные нам два факта: происшедший там взрыв, сопровождавшийся выбрасыванием больших масс газа, и наличие интенсивного радиоизлучения от небольшой области вокруг центра — не только свидетельствуют о существовании ядра у этой галактики, но и говорят о наличии у этого ядра определенных свойств.

Поскольку изучение интегральных характеристик звезд оказалось весьма плодотворным для выяснения их истинной природы, можно думать, что исследование интегральных параметров, характеризующих ядро галактик и их активность, позволит решить вопросы, касающиеся природы ядер.

§ 5. Наблюдения показывают, что у различных галактик светимость ядер составляет различную долю интегральной светимости галактики: от менее чем одной тысячной у M31 до десятков процентов у некоторых галактик Сейферта.

Наконец, имеются случаи, когда мы наблюдаем *изолированное* ядро без окружающей его структуры. По крайней мере, некоторые из компактных галактик Цвикки являются подобными изолированными ядрами. Мы можем считать, что в этих случаях вся (или почти вся) светимость галактики обусловлена ее ядром.

§ 6. Абсолютные фотографические величины ядер занимают огромный диапазон от  $-5$  до  $-18$ . В отдельных случаях ядра могут иметь еще более высокую светимость.

§ 7. Спектральные наблюдения показывают, что в состав ядер, как правило, входит звездное население, а часто и небольшие количества диффузного вещества. В большинстве случаев цвет  $B-V$  мало отличается от среднего цвета звездного населения центральных частей той же галактики. Поэтому имеются некоторые основания считать, что в лучах  $B$  и  $V$  большая часть излучения ядра обусловлена обычным звездным населением. Иначе обстоит дело с ультрафиолетовым излучением.

В ядрах обычно присутствует также некоторое количество диффузного вещества. Однако ни звезды, ни диффузное вещество не могут быть, по-видимому, ответственны за те формы активности ядер, которые связаны с огромным энерговыделением ( $10^{57}$ — $10^{60}$  эрг) за короткие промежутки времени, или за выброс очень больших масс вещества. Поэтому, как возможное решение вопроса, следует допустить существование в некоторых ядрах весьма массивных тел незвездной природы, ответственных за многие формы их активности.

§ 8. Следует отметить, что благодаря своему центральному положению ядро динамически автономно по отношению к остальной системе. Поэтому с чисто механической точки зрения эволюция ядра может изучаться независимо от механического состояния окружающей звездной системы.

Относительно высокая звездная плотность ядер (превосходящая  $10^4$  звезд на кубический парсек) наводит на мысль о том, что на определенном этапе развития в них могут нарушаться некоторые свойства, характерные для системы гравитирующих точечных масс (к числу этих характерных свойств относится то, что длина свободного пробега во много раз больше диаметра системы, и то, что радиационным взаимодействием звезд можно пренебречь).

Нетрудно, однако, видеть, что такие нарушения свойств «идеальных звездных систем» приобретут существенное значение тогда, когда поверхностная яркость ядра станет приближаться к поверхностной яркости звезд. Это соответствует плотностям порядка  $10^{11}$ — $10^{12}$  звезд на кубический парсек.

При известных нам массах ядер (до  $10^{10}$  масс Солнца) столь высокая плотность может быть достигнута, если ядро или значительная часть его массы сосредоточится внутри объема, меньшего, чем один кубический парсек. Столь высокая плотность не соответствует имеющимся данным о средних плотностях ядер. Но наличие у ядер подобных центральных сгущений придало бы им много необычных свойств и, может быть, позволило бы объяснить некоторые формы их активности.

Существование в ядрах сверхмассивных тел, способных претерпевать время от времени взрывы с большим выделением вещества и энергии, также должно обусловить крайнее своеобразие динамики и внутреннего строения ядра. Поэтому и с чисто динамической точки зрения ядра должны быть далеко не тривиальными системами.

§ 9. Различные формы активности ядер были рассмотрены в докладе автора на Сольвейской конференции 1958 года [1].

Обзорная статья Бэрбидж, Бэрбиджа и Сандейджа [2] содержит много новых фактов, особенно относящихся к эруптивным формам активности. Поэтому мы здесь ограничимся простым перечислением различных форм активности, тем более, что в течение всего этого симпозиума мы будем рассматривать и сопоставлять различные данные, относящиеся к этому явлению.

Автор придерживается того взгляда, что активность ядра является основным фактором, определяющим формирование каждой галактики. С этой точки зрения и спиральные рукава, и население сферической составляющей (гало) каждой галактики возникли у галактик в результате активности центрального плотного ядра как следствие разного рода выбросов и истечений. Но постановка этих вопросов во всей их широте привела бы к необходимости рассмотреть всю проблему происхождения галактик и скоплений галактик, что далеко выходит за пределы задач настоящего симпозиума. Поэтому в данный момент целесообразно исключить из рассмотрения различные возможные *предположительные* формы активности и говорить только о тех формах, на существование которых более или менее прямо указывают наблюдения.

§ 10. Это прежде всего те формы активности, которые связаны с относительно большим выделением энергии.

Таковыми формами активности, в частности, являются:

а) радиовспышки (приводящие к превращению галактики на некоторое время в радиогалактику);

б) взрывы, сопровождаемые выбросом протяженных газовых облаков с массой порядка миллионов солнечных масс (M82);

в) непрерывное истечение вещества;

г) выбросы струй и компактных голубых галактик (IC1182 и другие).

§ 11. Во много раз меньшее количество энергии выделяется в связи со способностью ядер значительного числа спиралей и пересеченных спиралей длительное время поддерживать вокруг себя существование радиоизлучающего облака диаметром в несколько сот парсек.

Примером такого облака может служить протяженное образование вокруг центра нашей Галактики, которое испускает длинноволновое радиоизлучение. Во многих других спиральных и пересеченных спиральных галактиках такие же центральные облака имеют гораздо более высокую радиосветимость (иногда в сотни раз большую, чем у нашей Галактики). Такие облака существуют, по-видимому, в течение сотен миллионов лет. Для этого, однако, необходимо, чтобы энергия облака непрерывно или дискретными порциями в течение длительного времени пополнялась за счет энергии ядра.

§ 12. Другой вид более спокойной активности связан с наличием интенсивного ультрафиолетового излучения в спектре околюдерных областей некоторых галактик. Факты, относящиеся к встречающемуся иногда несоответствию между морфологическим типом галактики и показателем цвета ядра, так же, как и прямые наблюдения ультрафиолетовых частей спектров у некоторых ядер, свидетельствуют об испускании ядрами излучения, нехарактерного для их звездного населения. Вероятно, это излучение возникает не только в самом ядре, но и в окружающей его области. Возможно, что оно имеет незвездное и нетепловое происхождение. При этом

мы не имеем в виду так называемые «горячие пятна» в окооядерных областях, которые могут состоять из горячих звезд и эмиссионных туманностей. Для поддержания этого аномального ультрафиолетового излучения также требуется постоянный приток энергии из ядра в окружающее пространство.

§ 13. Если еще несколько лет тому назад данные об активности ядер были настолько скудны, что многие сомневались в самом существовании этой активности, то теперь, когда астрономы приступили уже к подробному изучению этого вопроса, стало ясно, что мы имеем дело с весьма сложным комплексом явлений, не находящих простого объяснения. Прежде чем пытаться найти теоретическое объяснение, следует дать классификацию как самих ядер и их состояний, так и различных форм их активности. К сожалению, это очень трудное дело.

Может быть, различные формы активности следует отличать друг от друга по степени их продолжительности.

Тогда следовало бы отличать:

а) явления взрывного характера, куда войдут пункты а), б) и е) из § 10;

б) формы активности промежуточной продолжительности. Сюда следует прежде всего отнести формы активности, которые проявляются ядрами галактик Сейферта. В период этой активности в ядре происходит выбрасывание газовых облаков, имеющих значительные массы (порядка тысяч масс Солнца) и движущихся со скоростями более тысячи километров в секунду;

в) медленные процессы истечения вещества из ядра. К числу медленных проявлений активности следовало бы отнести наличие аномальных излучений из ядра и окружающей его области.

§ 14. Следующей задачей должны быть поиски зависимости форм активности ядер от тех или иных внешних параметров, их характеризующих. Однако мы пока можем сказать очень мало о значениях этих параметров для конкретных галактик. Поэтому настоятельно необходимо наличие более богатых наблюдательных данных. Исследование ядер надо вести

параллельно с исследованием центральных (околоядерных) областей в целом. В частности, важны исследования центральных частей в том духе, как это производится Воронцовым-Вельяминовым.

Нам кажется, что прежде всего следует выяснить, у каких галактик какого-либо каталога (напр., Шепли и Эймс) мы сможем выделить ядра и определять, скажем, их светимости. Ясно, что мы можем это сделать наиболее успешно для тех галактик, которые имеют ядра относительно высокой светимости. На самом деле возможность изучения ядер зависит и от яркости окружающего фона. Для того, чтобы получить первую ориентировку в этом вопросе, мы приступили в Бюраканской обсерватории к классификации галактик по степени четкости выделения ядер в их фотографических изображениях. Это делается посредством оценки в пятибалльной шкале, причем балл 5 приписывается тем галактикам, у которых имеется на наших снимках совершенно четкое звездообразное ядро; балл 3 означает, что хотя само ядро незаметно, но быстрое увеличение яркости к центру галактики свидетельствует о его присутствии. Балл 1 означает, что в галактике нет бросающегося в глаза центрального сгущения. Баллы 2 и 4 соответствуют промежуточным случаям. Заметим, что это еще не есть настоящая классификация ядер. Это скорее грубая классификация ситуаций, наблюдаемых в центральных частях галактик.

К настоящему времени такие оценки произведены в Бюракане для нескольких сот галактик.

§ 15. Встает вопрос, в какой степени подобные оценки независимы от масштаба снимка. Предварительные результаты произведенных сравнений дают основание считать, что увеличение масштаба, как правило, не ведет к уменьшению балла, с той оговоркой, что, например, ядро, имеющее оценку 5, на снимке большого масштаба может оказаться уже не точечным и таким резким, как на снимке малого масштаба.

Поэтому представляется достаточно обоснованным фотометрирование ядер галактик в случае баллов 4 и 5 как звездообразных объектов.

В случае же баллов 1-3 мы можем давать с данным инструментом лишь верхнюю границу светимости ядра,

оставляя открытой возможность наблюдения ядра с инструментами длиннофокусными.

§ 16. Полученные результаты в части пересеченных спиралей уже частично опубликованы Каллогляном и Товмасыном [3, 4]. Результаты некоторых других серий измерений будут доложены здесь в течение симпозиума нашими сотрудниками\*.

Имеющийся материал пока не дает оснований для широких сравнений и выводов. Подробности вы узнаете из дальнейших докладов, но мне здесь хотелось бы упомянуть о том, что распределение галактик по введенным выше баллам (оценкам) различно для различных морфологических типов. Это позволяет надеяться установить связь характеристик ядер с типом галактики.

С другой стороны, по-видимому, взрывы, сопровождающиеся большим энерговыделением, происходят в галактиках, где светимость ядер невелика.

Наоборот, более медленные формы активности ассоциируются с более яркими ядрами.

§ 17. Конечно, нас очень интересует вопрос о том, как меняются интегральные параметры, характеризующие ядро, при том или ином взрывном процессе или в процессе эволюции.

Только длительное и глубокое изучение ядер позволит ответить в будущем на этот вопрос.

Можно спросить, не происходят ли большие взрывы в результате таких процессов, когда состояние системы меняется радикально или система исчезает совсем. В этих случаях, а также в случае коллапсов, как их описывают теоретики, мы не должны иметь повторения аналогичных друг другу взрывных явлений.

Между тем, такое повторение встречается. Примером может служить радиогалактика Центавр А.

§ 18. Поскольку другим видам активности ядер будет посвящено много сообщений, я хотел бы остановиться здесь на выбросах струй и сгустков из ядер галактик.

\* См. труды симпозиума: Нестационарные явления в галактиках, АН Арм. ССР, Ереван, 1968.

Первым примером галактики со струей, включающей в себя сгустки, послужила радиогалактика NGC 4486. Тот факт, что струя выходит из ядра, дал основание говорить о выбросе струй из центрального ядра. Вторым интересным примером явилась относительно мощная струя с одним сгустком из галактики, фотография которой была приведена Цвикки в его статье в «Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften». Эту галактику мы отождествили с NGC 5361. В новом каталоге де Вокулера этот объект имеет номер А 1108. Лучевая скорость, определенная Цвикки, не оставляет сомнения в том, что сгусток (А 1108 С) не является случайной проекцией. Он является небольшой галактикой с отрицательным показателем цвета и имеет абсолютную величину —16.

В дальнейшем оказалось, что и струя, выходящая из IC 1182, находящейся в скоплении Геркулеса, также содержит голубые сгустки, причем абсолютная величина одного из них порядка —17.

Однако имеются случаи, когда голубые галактики встречаются вблизи гигантских галактик, не будучи связаны струями с их ядрами.

В свое время ряд таких голубых объектов был найден здесь, в Бюракане\*. Из них я хотел бы отметить очень голубой объект в непосредственном соседстве с галактикой Гидра А и два голубых объекта около одной D-галактики, обнаруженные два года тому назад Саакян\*\*. Интересно, что во всех этих случаях голубой объект находится в соседстве с галактикой типа D.

Этот вид голубых объектов отличается от голубых галактик Аро малыми размерами и относительно высокой поверхностной яркостью. Поэтому можно принять предложение Цвикки считать их *компактными голубыми галактиками*.

Эта группа фактов заслуживает особого внимания, так как указывает на возможность весьма интересных процессов выброса относительно плотных масс или может быть даже объектов, которые в дальнейшем взрываются, по пути превращаясь в голубые галактики.

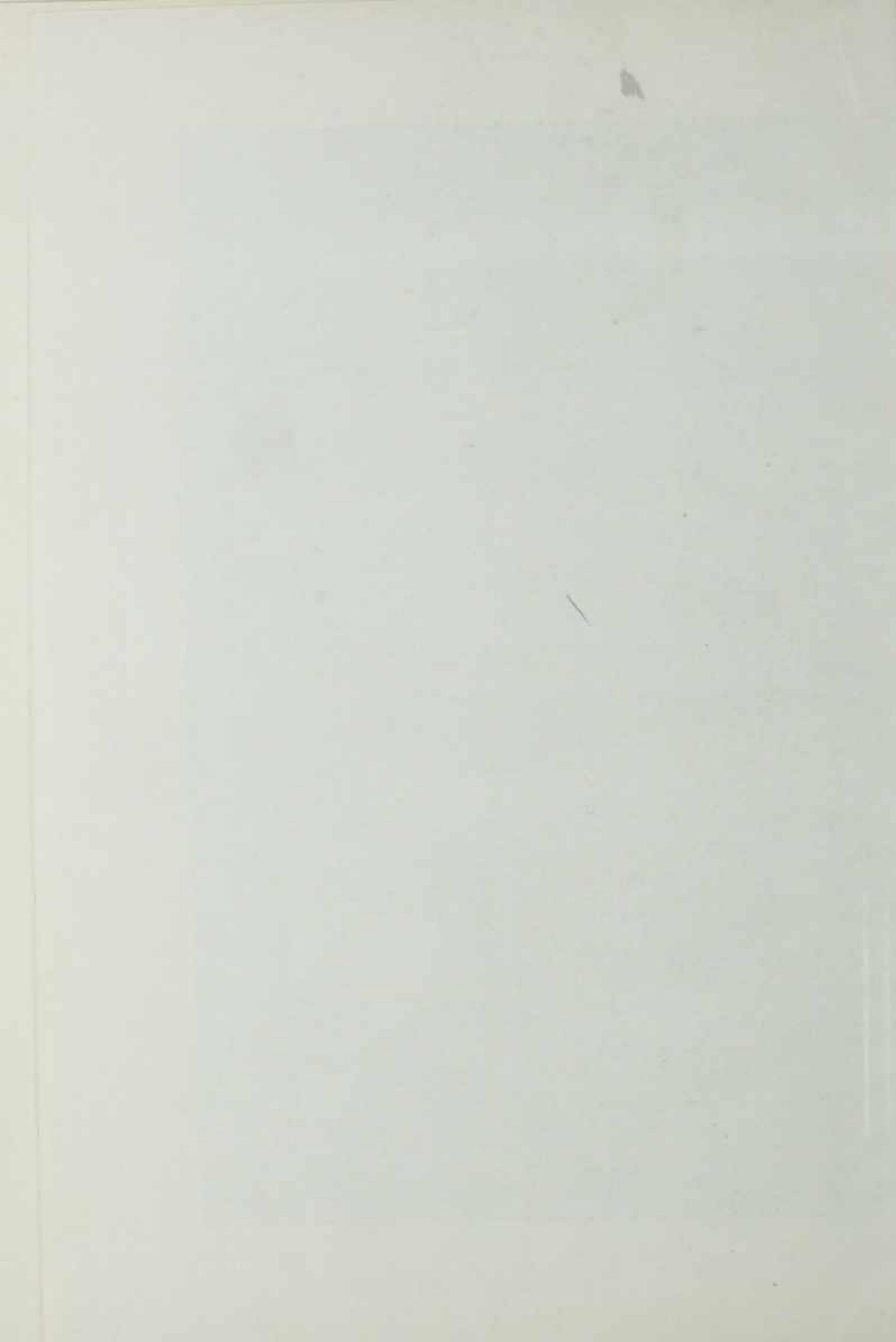
Конечно, необходимо учесть, что и эти объекты могут иметь разную природу. Как показал Цвикки, в спектре голу-

\* См. том II «Научных трудов» В. А. Амбарцумяна, стр. 283 и 295.

\*\* Астрофизика, 1, 126, 1965.



Участники симпозиума Международного астрофизического союза «Нестационарные явления в галактиках» в Бюракане (май, 1966)



бого сгустка А 1108 С доминирует излучение в линии  $\lambda$  3727. С другой стороны, совсем не так обстоит дело в случае голубого объекта около Гидра А, как это следует из спектральных снимков Маркаряна.

Следует особо отметить явления нестационарности, наблюдаемые и в других голубых галактиках. Оставаясь в сфере объектов аморфного вида (без спиральных рукавов), следует упомянуть об очень интересных спектральных наблюдениях весьма компактной радиогалактики 05 21—36 каталога Болтона и других, произведенных Вестерлундом и Стоксом в Австралии. Эта галактика, имея абсолютную величину в системе В, равную  $-21.5$ , в то же время по диаметру не превосходит 5 000 парсек (мною данные пересчитаны на постоянную Хаббла, равную  $75$  км/сек на мегапарсек). Галактика имеет большой ультрафиолетовый эксцесс ( $U-V = -0.30$ ). Ширина эмиссионных линий свидетельствует о движениях газа со скоростями порядка  $1\,000$  км/сек. Таким образом, этот объект высокой светимости показывает много признаков, характерных для нестационарных галактик. Очевидно, что объект, исследованный Вестерлундом и Стоксом, является во многих отношениях переходным к квазарам. Существенная разница, однако, заключается в том, что он, очевидно, входит в скопление галактик, правда, значительно более слабых, чем он сам.

§ 19. В заключение я хочу поставить вопрос, который имеет фундаментальное значение для понимания эволюции галактик и развития нестационарных процессов в них.

Целый ряд явлений мы объясняем, предполагая, что взрыв происходит в самом ядре галактики. Особенно это относится к радиовспышкам. С другой стороны, некоторые наблюдатели обратили внимание на наличие в некоторых галактиках образований, которые можно рассматривать как результат эксцентричного взрыва. При этом я говорю не о явлениях масштаба звездных ассоциаций, а о явлениях гораздо более крупного масштаба, когда много групп звезд располагается в виде кольца вокруг некоторого центра. Такого типа образования существуют, например, в Большом Магеллановом Облаке.

Интересно наличие такого образования в южной галактике NGC 3955, о которой будет сказано в сообщении Тов-

масяна\*. Интересно, что эта галактика (согласно каталогу де Вокулера) принадлежит к тому же морфологическому типу, что и M82.

Поскольку вне ядра мы обычно не имеем источников, способных к быстрому освобождению очень больших количеств энергии, возникает мысль о возможности случаев, когда энергия взрыва выносится из ядра каким-то носителем, а затем ее освобождение происходит на некотором расстоянии от ядра. Гипотеза о возможности подобных процессов позволила бы объяснить огромный класс явлений, но я бы предупредил против возможной тенденции применять ее во всех случаях, когда мы имеем дело с различного рода структурами на перифериях галактик.

§ 20. Вместе с тем, следует отметить, что затронутый вопрос имеет тесную связь с проблемой возникновения групп галактик в плане тех задач, которые обсуждались на конференции в Санта-Барбара (нестационарность скоплений галактик).

В частности, предположение о возможности выброса из ядер таких компактных голубых галактик, о которых речь шла выше, заставляет нас не забывать, что многие проблемы физики галактик связаны с вопросами эволюции скоплений галактик.

§ 21. Вопрос о механизме активности ядер галактик тесно связан с вопросом о природе квазизвездных объектов. Как уже указывалось, имеются объекты, занимающие промежуточное положение между галактиками и квазизвездными объектами. Однако обсуждение вопросов, связанных с квазизвездными объектами, выходит за пределы настоящего доклада.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Амбарцумян, Solvay Conference Report, 1958.
2. E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, A. R. Sandage, Rev. Modern Phys., 35, 947, 1963.
3. А. Т. Каллоглян, Г. М. Товмасын, Сообщ. Бюраканской обс., 36, 31, 1964.
4. Г. М. Товмасын, Астрофизика, 1, 197, 1965.

---

\* Сообщение Г. М. Товмасына о галактике NGC 3955 на симпозиуме не состоялось. Об этом см. его заметку (Астрофизика, 2, 235, 1965).

## О Б С У Ж Д Е Н И Е

*Я. Б. Зельдович.* В работе моей и Подурца, упомянутой докладчиком, рассматривается крайне идеализированная задача эволюции системы *точечных* масс. Система звезд нормального размера за счет физических столкновений эволюционирует гораздо быстрее и при меньшей плотности, по сравнению с эволюцией *точечных* масс за счет гравитационного взаимодействия.

*(В. А. Амбарцумяну).* Каких свойств массивных тел требуют наблюдательные данные? Сохраняются ли масса, энергия, момент вращения? Как известно, предположение об образовании вращающейся галактики из компактного массивного тела связано с трудностями именно в связи с моментом вращения.

*В. А. Амбарцумян.* Массы ядер, определяемые по моменту вращения, оказываются порядка  $10^6$ — $10^{10}M_{\odot}$ . Наблюдений более массивных ядер не имеется. Однако данные очень скудны.

Конечно, имеются трудности, связанные с моментом вращения. В этой связи интересно, что явления струй и выбросов, о которых говорилось выше, связаны главным образом с галактиками, которые не характеризуются быстрым вращением.

## 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 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.

---

\* Речь, произнесенная на официальной церемонии вручения В. А. Амбарцумяну диплома почетного доктора Карлова (пражского) университета, в Праге, в августе 1967 г., во время XIII Международного астрономического съезда.

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 процес-

хождению космических лучей и к природе дискретных источников радиоизлучения. 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 астрофизики, 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 раскрывается 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 невероятных 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 невероятная 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.

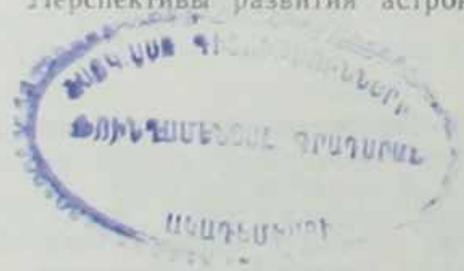
И если Вы спросите меня, что я чувствую в этот момент, получая почетную степень Карлова университета, то я отвечу, что жалею, что нахожусь не в том возрасте, когда получают не почетные, а обыкновенные степени, защищая соответствующие диссертации. Молодость, однако, не возвращается. Но мы, представители 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.

*Примечание.* Приведенная речь В. А. Амбарцумяна интересна тем, что в ней автор ясно и четко формулирует свои взгляды о значении и роли астрономии в развитии науки в ближайшем будущем. Эта идея проскальзывает через все его работы, начиная с 1947 г., когда после открытия звездных ассоциаций он пришел к выводу о том, что в некоторых космических явлениях, в частности в процессах возникновения и развития звезд и звездных систем, важную роль играет материя, находящаяся в необычных, пока не известных состояниях.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
О клочковатой структуре межзвездного поглощающего слоя (пер. <i>Л. В. Мирзоян</i> ). . . . .	7
Вводный доклад на симпозиуме по эволюции звезд (пер. обсуждение <i>В. С. Осканян</i> ). . . . .	15
О происхождении звезд (пер. <i>Л. В. Мирзоян</i> ). . . . .	45
О кометообразных туманностях (пер. <i>Э. С. Парсамян</i> ). . . . .	54
Звезды типов Т Тельца и UV Кита и явление непрерывной эмиссии (пер. обсуждение <i>В. С. Осканян</i> ). . . . .	59
Некоторые замечания о кратных галактиках. . . . .	72
К вопросу о механизме возникновения звезд в звездных ассоциациях	76
Об эволюции галактик (пер. обсуждение <i>А. Т. Каллоглян</i> ). . . . .	85
Проблемы внегалактических исследований . . . . .	128
Нестационарные явления в системах галактик (пер. <i>Г. М. Товмасын</i> ). . . . .	156
Сверхассоциации в далеких галактиках (пер. <i>Р. К. Шахбазян</i> ). . . . .	169
Мир галактик . . . . .	176
Некоторые замечания о природе ядер галактик (пер. <i>Г. М. Товмасын</i> ). . . . .	195
О ядрах галактик и их активности (пер. <i>Г. М. Товмасын</i> ). . . . .	200
Об активности ядер галактик. . . . .	219
Перспективы развития астрономии . . . . .	232



ВИКТОР АМАЗАСПОВИЧ АМБАРЦУМЯН

**ПРОБЛЕМЫ ЭВОЛЮЦИИ ВСЕЛЕННОЙ**

Худож. оформление *Л. А. Садогна*  
Технич. редактор *М. А. Капелян*  
Корректор *Г. А. Абрамян*

ВФ 03442 РИСО 1151, изд. № 3015, заказ 239, тираж 2000 <sup>шт.</sup>

Сдано в производство 28/III 1968 г. Подписано к печати 4/VIII 1968 г.  
Печ. л. 14,75+4 вкл., изд. лист. 12,75, бум. л. 7,38. Бумага № 1, 60×84<sup>1/16</sup>.

Цена 1 р. 10 к.

Эчмиадзинская типография Издательства Академии наук Армянской ССР

212545