

В. А. АМБАРЦУМЯН

Об эволюции галактик

*Отдельный оттиск из „Известий“
Академии наук Армянской ССР
(серия физико-математических наук), том XI, № 5, 1958 г.*

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Е Р Е В А Н

1 9 5 8

АСТРОФИЗИКА

В. А. Амбарцумян

Об эволюции галактик*

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

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

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

1. Само существование звездных скоплений в Галактике, вместе с некоторыми статистико-механическими соображениями о необратимом характере процесса распада скоплений, привел 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].

* Настоящая статья представляет собой отчет, представленный автором XI Сольвейской конференции в Брюсселе в июне 1958 года. Отдельные места переработаны при подготовке статьи к печати.

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 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 орбитальной 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 также, 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 (M 33, NGC 6822, IC 1613 и, возможно, некоторые другие), имеется одна тройная галактика и одна галактика еще более высокой кратности. Можно поставить вопрос, каково должно было быть математическое ожидание числа двойных и кратных галактик при диссоциативном равновесии. Оказывается, что при диссоциативном равновесии математическое ожидание числа двойных галактик в Местной системе должно было быть меньше 0.05, а математическое ожидание числа тройных галактик и галактик более высокой кратности во много раз меньше. Поэтому, тот факт, что мы имеем в Местной группе галактик две системы столь высокой кратности, является очень сильным отклонением от диссоциативного равновесия. Таково же положение во многих других группах и скоплениях. В некоторых случаях степень отклонения от диссоциативного равновесия во много раз больше.

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

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

Вывод. Составляющие любой кратной галактики возникли совместно.

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

§ 3. Наблюдаемые конфигурации кратных галактик. За время жизни галактик (несколько миллиардов лет) возмущения в состояниях кратных галактик, возникающие вследствие сближений с другими внешними галактиками должны были быть незначительными. Поэтому можно рассчитывать, что эти состояния несут в себе следы первоначальных условий

возникновения кратных систем. Естественно, поэтому, искать в статистических данных, характеризующих совокупность двойных и кратных галактик информацию о механизме их образования. К сожалению, мы не располагаем достаточно надежными *количественными* данными подобного рода. Например, было бы интересно знать закон распределения расстояний между компонентами двойных галактик. Что же касается до 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 и 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 κ_0 и $\frac{1}{\kappa_0}$, где κ_0 — некоторое число порядка $\sqrt{10}$.

Если мы хотим произвести более строгий отбор, то значение κ_0 можно взять несколько меньшим, чем $\sqrt{10}$. Например, в некоторых работах мы брали $\kappa_0 = 2.5$. 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 также, мы не будем рассматривать чисто технический вопрос о поправках, которые необходимо внести в статистические данные для перехода от распределения по типам, получающимся в *проекции*, к распределению по типам, которое должно было бы получиться, если бы мы имели возможность вести статистику *пространственных* конфигураций. Эти вопро-

сы в первом приближении рассмотрены в соответствующих работах автора. Получающиеся количественные поправки не меняют качественный результат. Поэтому мы получаем следующий вывод: *Большинство кратных галактик обладает конфигурациями типа Трапеции.*

§ 4. О причине преобладания трапеций. Тот факт, что подавляющее большинство кратных звезд имеет конфигурации обыкновенного типа, находит следующее естественное объяснение. Конфигурация типа Трапеции, как правило, неустойчива даже в том случае, если полная энергия кратной системы отрицательна. В то время как движения в системе обыкновенного типа могут быть приближенно сведены к сумме нескольких кеплеровских (а значит 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 возникших в Галактике систем типа Трапеции должно было разрушиться. Это объяснение, вместе с тем, дает возможность понять наблюдаемое в отношении звезд типов О и В0 исключение из правила. Многие из этих звезд обладают возрастом порядка 10^6 лет и значительно меньше, чем 10^7 лет. Между тем период обращения в наблюдаемых кратных звездах типа Трапеции должен быть порядка 10^5 — 10^6 лет. Поэтому число оборотов, вокруг центра тяжести, которое могли успеть совершить компоненты этих трапеций должно измеряться всего несколькими единицами. Вследствие этого эти кратные системы не успели разрушиться.

Но в отношении *кратных галактик* имеет место как раз такое же положение дел, что и в отношении О-В звезд. Возраст кратных галактик измеряется несколькими миллиардами лет, между тем как время оборота в них достигает порядка миллиарда лет. Следовательно, компоненты кратных галактик могли успеть совершить лишь очень небольшое число оборотов. По этой причине кратные галактики, имевшие конфигурации типа Трапеции, не успели разрушиться.

Поскольку механизм разрушения наблюдаемых нами кратных галактик, действующий избирательным образом только на системы типа Трапеции, не должен был успеть воздействовать в большинстве систем, то современное распределение конфигураций по типам отражает, по-видимому, то начальное распределение, которое обусловлено закономерностями возникновения кратных галактик.

Вывод. *Высокий процент конфигураций типа Трапеции среди кратных галактик находится в полном согласии с соотношением между возрастом галактик и периодами обращения в кратных системах.*

§ 5. Кратные системы с положительной энергией. В предыдущем параграфе мы говорили об «обращениях» отдельных компонент в кратной галактике. Это предполагает, что речь идет о системах, в которых компоненты, по крайней мере на начальной стадии развития, удерживаются друг около друга гравитационными силами. Иными словами, мы до сих пор подразумевали, что все кратные галактики возникают, как системы с отрицательной полной энергией.

На самом деле, для суждения о знаке энергии данной кратной системы нам нужны довольно подробные данные о массах и скоростях компонент, помимо данных об их конфигурации. К сожалению, имевшиеся до последнего времени сведения о массах двойных и кратных галактик получались из предположения, что система обладает отрицательной энергией, т. е., из гипотезы, которую как раз подлежит проверить.

Постановка вопроса о возможном существовании кратных систем с положительной энергией, может показаться излишней, так как в случае звезд все хорошо изученные до сих пор двойные и кратные системы оказались обладающими только отрицательной энергией. Представим, однако, на минуту, что кратные звезды возникают в Галактике как с отрицательной, так и с положительной энергией. Системы с положительной энергией должны распадаться за время порядка 10^5 лет. Это время очень мало по сравнению с возрастом подавляющего большинства звезд. Именно этим должно объясниться, 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 радиальных скоростей которых столь велика, что не может быть объяснена при допущении отрицательной полной энергии.

Аналогичное рассуждение справедливо по отношению к кратным галактикам, поскольку возраст некоторых кратных галактик может быть таким (порядка миллиарда лет), что компоненты хотя и находятся в процессе взаимного удаления, но не могли еще удалиться достаточно далеко друг от друга. Однако окончательное решение вопроса о существовании кратных галактик, обладающих положительной энергией, возможно только на основании критического изучения фактического материала, правда, пока весьма скудного.

Мы приведем здесь *некоторые* данные, свидетельствующие в пользу того, что некоторые кратные галактики действительно обладают положительной полной энергией.

а) Если принять, что все кратные системы обладают отрицательной полной энергией, то из наблюдаемых разностей радиальных скоростей компонент двойной или кратной галактики можно делать статистиче-

ские 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.

в) Рассмотрим группу галактик, связанную с М 81. Она состоит из четырех ярких галактик: NGC 3031 (М 81), NGC 3034 (М 82), NGC 2976 и NGC 3077, а также из нескольких более слабых галактик. Видимые интегральные фотографические звездные величины перечисленных выше четырех ярких галактик, согласно определению Холмберга [11], равны 7.85, 9.20, 10.73, 10.57. Если мы не хотим допустить сверхвысоких значений отношения массы к светимости, мы должны принять, что массы всех членов группы, кроме перечисленных, малы и поэтому можем рассматривать группу, как широкую четверную систему. По своей конфигурации она соответствует типу Трапеции. То, что все четыре перечисленные галактики являются членами одной физической группы, вытекает из следующих соображений. Из них три (кроме М 82) имеют близкие друг к другу радиальные скорости. Их средняя, исправленная за движение Солнца, лучевая скорость равна $+72$ км/сек. Только у галактики М 82 лучевая скорость равна $+410$ км/сек. Поэтому относительно нее может возникнуть сомнение в принадлежности к группе. Однако между галактикой М 82 и галактикой NGC 3077 существует очень тесное физическое сходство. Обе они принадлежат к категории иррегулярных галактик, состоящих из населения второго типа и обе обладают высокой поверхностной яркостью. Вследствие того, что совпадение указанных характеристик среди относительно ярких галактик встречается очень редко, следует считать крайне невероятным, что мы имеем здесь дело со случайным проектированием М 82 на область неба, занимаемую группой. Таким образом, можно считать почти достоверным, что все четыре галактики физически связаны между собой. Тогда разницу в лучевых скоростях следует объяснить орбитальным движением.

Естественно сначала допустить, что наибольшей массой из указанных четырех галактик обладает наиболее яркая, т. е. М 81. Но масса ее определена на основании изучения вращения Гвидо Мюнчем [12]. Она близка к 10^{11} масс Солнца. Лучевая скорость М 82 отличается от 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, лучевая скорость которой отличается от лучевой скорости NGC 3077 уже на 436 км/сек и которая находится в проекции на расстоянии почти 55 тысяч парсек от М 82. Для того, чтобы объяснить эту разность скоростей, надо допустить, что минимальная масса М 82 больше, чем 10^{12} солнечных масс. Такое предположение ведет к необычайно большому значению отношения $\frac{M}{L}$ для М 82 (порядка 500).

Учитывая же, что реальные относительные скорости могут составлять значительные углы с лучом зрения, мы приходим к еще большим значениям массы М 82. Единственным выходом из создавшегося положения является допущение, что галактика М 82 просто удаляется из группы, связанной с М 81 со скоростью, значительно превосходящей скорость отрыва. Это означает, что один из членов группы получил уже в процессе ее возникновения положительную энергию.

с) Интересным примером является открытая Цвикки [13] группа из трех галактик IC 3481, IC 3483 и анонимная галактика, находящаяся между ними. Лучевые скорости их соответственно равны $+7011 \text{ км/сек}$, $+33 \text{ км/сек}$ и $+7229 \text{ км/сек}$. Загадкой является галактика IC 3483. Если она физически связана с остальными двумя, о чем свидетельствует соединяющее все три галактики волокно также, как и близость видимых величин IC 3481 и IC 3483, то мы прямо должны заключить, что имеем дело с галактикой, удаляющейся от группы, в которой она возникла.

Если же IC 3483 случайно проектируется на конец волокна, а на самом деле является близкой галактикой в соответствии со своей радиальной скоростью, то абсолютная величина этой галактики должна быть очень низка. Если, например, допустить, что она входит в состав скопления в Деве, то мы должны приписать этой галактике абсолютную величину около -14.5 . Такая абсолютная величина является действительно необычайной для спиральных галактик. Поэтому довольно вероятно, что справедливо именно первое предположение*.

д) Квинтет Стефана несомненно является физической группой. При рассмотрении фотографий этой группы особенно бросается в глаза тесная связь между компонентами NGC 7318a и NGC 7318b этой группы. Несмотря на это, разность лучевых скоростей этих двух галактик достигает почти 1000 км/сек . Поскольку две другие галактики этой системы NGC 7317 и NGC 7319 имеют лучевые скорости, отличающиеся от лучевой

*Здесь и в дальнейшем мы исходим из значения постоянной Хаббла $H=180 \text{ км/сек}$ мегпарсек, полученной в работе Хьюмассона, Мейола и Сендеджа [14]. Согласно работе Сендеджа, доложенной на Сольвейской конференции 1958 г., $H=75 \text{ км/сек}$ на мегапарсек.

Однако мы не сочли необходимым изменить цифры, данные в тексте, поскольку основные выводы настоящей статьи сохраняют свою силу независимо от принятия или непринятия нового значения H .

скорости NGC 7318a не более, чем на 100 км/сек; то естественно заключить, что галактика NGC 7318b уходит из группы с положительной энергией.

е) Встречается ряд тесных двойных галактик, где очень трудно считать систему оптической и, тем не менее, разность лучевых скоростей очень велика. Примером может служить пара NGC 2831 и NGC 2832, в которой расстояние между компонентами меньше 30", что соответствует в проекции менее чем 4000 парсек, тогда как разность лучевых скоростей примерно 1800 км/сек [14]. Однако рассматриваемая пара находится в скоплении галактик, где вероятность проектирования может быть сравнительно большой, а разности лучевых скоростей членов иногда достигают 2000 км/сек и более. Тем не менее, удивительно, что как раз две столь близко проектирующиеся галактики обладают столь большой разностью скоростей.

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

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

§ 6. О знаке полной энергии больших скоплений галактик. Как известно, для определения средних масс галактик часто к скоплениям галактик применяют теорему вириала. Согласно этой теореме, масса скопления определяется из формулы: $M = \frac{2v^2R}{G}$, где v^2 —средний квадрат

скорости, отнесенной к центру масс скопления, а R —радиус скопления. Применение теоремы вириала обосновано только в отношении стационарных скоплений, обладающих отрицательной энергией.

Известно, с другой стороны, что применение приведенной формулы к скоплениям галактик приводит к таким значениям их массы, которые ни в коей мере не соответствуют тем нашим представлениям о массах отдельных галактик, которые получаются на основе исследования их собственного вращения. Так, для скопления в Деве получается масса порядка 1500 M_{\odot} где M_{\odot} — масса нашей Галактики. Это означает, что средняя масса галактики в скоплении в Деве порядка M_{\odot} . Однако, массой порядка M_{\odot} могут обладать только галактики сверхгиганты. Между тем, мы знаем, что скопление в Деве содержит только несколько десятков сверхгигантов. Подавляющее же большинство членов этого скопления являются карликами, массы которых должны быть заключены между 0,01 M_{\odot} и 0,1 M_{\odot} . Это расхождение полностью объясняется, если допустить, что система в Деве имеет положительную полную энергию, т. е. представляет собой распадающееся скопление.

Несколько менее определенными являются данные о скоплении в Соме. Если мы применим теорему вириала, то для его массы получим огромную цифру порядка 5000 M_{\odot} . В этом случае получается, что сред-

няя масса членов скопления превосходит половину M_{Γ} . Это значение массы только с большой натяжкой можно примирить со светимостями членов скопления.

Вывод. Дисперсии скоростей в некоторых больших скоплениях галактик столь велики, что они могут представлять собой распадающиеся системы.

§ 7. Радиогалактики в Персее и Лебедь. 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) должно вызвать весьма бурные нестационарные процессы, продолжающиеся в течение нескольких десятков миллионов лет. Можно представить себе, что новые ядра прежде чем придти в стационарные состояния, выделяют из себя вещество, которое, распространяясь, образует вокруг них оболочки, состоящие из звезд и газа. Таким образом, мы приходим к представлению о том, что через первоначально существовавшую галактику происходит движение молодых галактик, находящихся в состоянии становления и быстро обрастающих соответствующими оболочками.

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

В обоих этих случаях мы наблюдаем огромные скорости взаимных движений. Так, галактика NGC 1275 (Персей А) как бы состоит из двух галактик, движущихся относительно друг друга так, что разность лучевых скоростей, определенная Минковским [15], достигает 3000 км/сек.

В случае радиогалактики Лебедь А мы непосредственно наблюдаем два ядра внутри одной галактики. Мы не имеем данных, относящихся

к скорости относительного движения этих ядер, однако, очевидно, что они не могут быть неподвижными относительно друг друга. Наряду с радиоизлучением огромной интенсивности, галактика Лебедь А излучает эмиссионные линии очень высокой интенсивности, причем, эти линии имеют значительную ширину. Все это свидетельствует об интенсивных движениях и процессах возбуждения в этой галактике.

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

Что касается до первой гипотезы, то пока трудно говорить о наблюдательных данных, которые бы соответствовали представлению о зарождении групп галактик из аморфного вещества. Наличие радиоизлучения нейтрального водорода в линии 21 см, исходящего от скопления галактик в Сота, Северной Короне и Геркулесе [16], свидетельствует, как будто, о существовании больших масс нейтрального водорода в этих скоплениях. Однако неясно, в какой степени эти массы независимы от отдельных галактик. Еще более неясно, как межгалактическое вещество, излучающее в оптических длинах волн, связано с этим нейтральным водородом. Поэтому нет достаточных данных для обоснования и развития первой гипотезы. В дальнейшем мы остановимся подробнее лишь на второй гипотезе, т. е. на предполагаемом делении ядер галактик.

Необходимо отметить, что открытие радиогалактик дало повод к 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 бы быть гораздо более частыми. В этом отношении следует обратить внимание также и на то, что радиогалактика Персей А является наиболее ярким объектом скопления в Персее, занимающим в этом скоплении центральное положение. Примерно такова же роль галактики Лебедь А в окружающем его скоплении галактик.

В этой связи следует еще раз обратить внимание на тесную двойную галактику NGC 2831 — 2832, о которой говорилось выше. По крайней мере, в проекции это—пара взаимопроникающих галактик с угловым расстоянием между центрами менее 30". Как указывалось, разность лучевых скоростей этой пары доходит до 1800 км/сек. Интересно, что эта пара занимает центральное положение в окружающем ее скоплении и обладает светимостью намного превышающей светимость любого из остальных членов скопления. Яркий компонент пары является сверхгигантом с абсолютной фотографической величиной около—19,5. Эти особенности говорят о глубоком сходстве этой пары с NGC 1275, где разность скоростей достигает 3000 км/сек.

В случае NGC 2831—2832 мы имеем дело с парой, в которой процесс оформления отдельных галактик вполне закончился. Интенсивная радиоэмиссия не наблюдается.

Вывод. Радиогалактики Персей А и Лебедь А представляют собой системы, в которых имело место деление ядер, но полное разделение галактик еще не наступило.

§ 8. Радиогалактика Дева А = NGC 4486 = М 87. Эта радиогалактика имеет в оптических лучах две особенности строения, которые ее выделяют среди других эллиптических галактик: 1) наличие струи со сгущениями, которые испускают поляризованное излучение и 2) наличие очень большого количества шаровых скоплений [17].

Тот факт, что струя исходит из центра, не оставляет 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 приходится сделать заключение, что выброшенная из ядра материя в короткий срок превратилась в подобные конгломераты. Эмиссионная линия λ 3727, наблюдаемая в области ядра NGC 4486, дает, по видимому, представление о скорости выбросов из ядра. Отсюда можно

оценить и порядок сроков, в течение которых могут происходить подобные превращения. Они оказываются порядка $3 \cdot 10^6$ лет.

Вывод. Наряду с делением ядер галактик в природе могут происходить процессы выбросов из ядер галактик относительно небольших масс. Эти выброшенные массы могут в короткие сроки превращаться в конгломераты, состоящие из молодых нестационарных звезд, межзвездного газа и облаков частиц высокой энергии.

§ 9. Голубые выбросы из ядер эллиптических галактик. Галактика NGC 4486 не является единственной галактикой, в которой мы наблюдаем выброс вещества из ядра [18]. Мы 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 О-ассоциацией или даже наложением нескольких О-ассоциаций. По своей абсолютной величине этот выброс представляет собой по существу карликовую галактику, по-видимому, отделившуюся от ядра гигантской галактики. Необычное значение показателя цвета свидетельствует о том, что состав населения этого выброса весьма своеобразен. Не исключена возможность, что его голубой цвет объясняется наличием коротковолновой непрерывной эмиссии. Несомненно, что галактика NGC 3561a заслуживает дальнейшего изучения.

Как известно, выброс, наблюдаемый в NGC 4486, является, хотя и в небольшой степени, тоже более голубым, чем основная галактика. Поэтому представлялось целесообразным произвести поиски голубых объектов в окрестностях других эллиптических галактик. Было найдено примерно два десятка голубых спутников, как правило, не связанных струей с главной галактикой и имеющих отрицательный показатель цвета. Значительная часть этих объектов по абсолютной величине намного превосходит обычные звездные ассоциации. Они могут быть приняты за отдельные галактики.

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

В отличие от NGC 4486, выбросы и спутники, о которых здесь идет речь, проектируются уже за пределами изображения наиболее яркой части соответствующей галактики, а иногда и довольно далеко на расстоянии нескольких радиусов основной галактики. Поэтому нужно считать,

что в возрастном отношении эти объекты являются более старыми. Быть может, вследствие этого мы не наблюдаем интенсивного радиоизлучения от них.

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

§ 10. Перемычки и волокна, связывающие галактики. Большой заслугой Цвикки [13] является то, что он обратил внимание на существование двойных и тройных галактик, компоненты которых связаны между собой волокнами или перемычками различной толщины. При этом, Цвикки считает вероятным, что эти перемычки образовались в результате приливного взаимодействия, происшедшего вследствие сближения двух галактик. Согласно Цвикки, перемычки и волокна состоят из звезд, выброшенных в результате прилива из данной галактики. Нетрудно видеть, что такая интерпретация не соответствует фактическим данным. В самом деле, волокна, соединяющие две галактики, иногда являются весьма тонкими. Между тем, если даже предположить, что приливная волна вырвалась как струя с поверхности данной галактики из 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 км/сек. Это видно из того, что, например, в системе Кинена разность лучевых скоростей равна 22 км/сек. С другой стороны, дисперсия звездных скоростей в каком-нибудь объеме галактики должна быть порядка 30 км/сек. Отсюда следует, что ширина струи на ее конце должна быть порядка одной шестой длины струи. Между тем в той же системе Кинена ширина струи во много раз меньше.

Во многих системах соединяющая перемычка является продолжением спиральных рукавов. Поэтому предположение о приливном происхождении перемычек, по существу, влечет за собой вывод о том, что спиральные рукава также являются продуктом приливного взаимодействия, причем было бы естественно распространить это и на все остальные спиральные галактики, т. е. и на те, которые не входят в пары или группы, связанные между собою перемычками. Такой вывод, однако, мог бы вызвать серьезные возражения. Например, известно, что в плотных скоплениях галактик, где приливные взаимодействия более вероятны, спираль-

ных галактик очень мало, например в скоплении Coma. Наоборот, их много в разреженных группах и скоплениях.

Поэтому представление о приливных взаимодействиях, как причине образования волокон, должно быть оставлено. В свете высказанной выше идеи о делении галактик волокна следует рассматривать, как последнее звено, связывающее между собой уже разделившиеся и уже значительно удалившиеся друг от друга галактики.

Если волокна, связывающие между собой, например, пару спиральных галактик, возникают в процессе разделения единого первоначального ядра, то можно сказать, что и спиральная структура образовавшихся галактик должна быть тесно связана с процессом разделения. Следует думать, что связь двойственности со спиральной структурой должна иметь место и в тех случаях, когда один из компонентов не является спиральной галактикой, а принадлежит какому-нибудь другому типу (смотреть, например, § 11).

Наконец, заметим, что хотя во многих случаях возникновение спиральной структуры мы приписываем двойственности (или кратности) галактики, это не дает возможности утверждать без дальнейшего исследования, что все спиральные структуры возникли в результате такого разделения.

Вывод. Перемычки и волокна между галактиками не являются следствием приливных взаимодействий. Можно предполагать, что они возникают при взаимном удалении двух или нескольких галактик, возникших из одного ядра.

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

Сходство между рассматриваемой двойной системой и М 51 подчер-

живается 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 Е. А. Воронцов-Вельяминовым [27] это один из типов двойных галактик, в котором компоненты связаны между собой мощным спиральным рукавом, а не тонким волокном. Это, по-видимому, частично обусловлено тем, что расстояние между компонентами, по крайней мере на современной фазе развития системы, сравнительно невелико. В случае М 51 это расстояние порядка всего трех тысяч парсек. Когда же расстояние между компонентами увеличивается, соединяющая 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 локальной группы, имеет, как известно, на своей периферии образование, состоящее из целой совокупности O- ассоциаций. Это образование является своего рода *сверхассоциацией*.

Такая же сверхассоциация, представляющая собой целое созвездие O-ассоциаций, наблюдается на окраине спиральной галактики IC 2574. Подобные сверхассоциации по своим масштабам вполне сравнимы с отдельными галактиками и поэтому тоже могут считаться спутниками соответствующих центральных галактик.

Объекты, о которых говорится в настоящем параграфе, являются в известной степени аналогами спутника М 51, но уже состоящими из крайнего населения I типа Бааде. Эти объекты, очевидно, могли возникнуть только в результате отделения значительной и, вместе с тем, компактной массы от первоначального центрального ядра. Нам кажется, в частности, что существование сверхассоциаций рассмотренного выше типа невозможно объяснить, если допустить, что входящие в них звезды возникли из чисто газовых облаков. В самом деле, газовое облако столь больших размеров, отделившись от центрального ядра, должно было бы рассеять-

ся вследствие эффекта дифференциального вращения по всему объему галактики.

Вывод. *Помимо случаев, когда спиральный рукав соединяет данную галактику со спутником, состоящим из населения II типа, имеются случаи, когда спиральный рукав заканчивается спутником, представляющим собой большой конгломерат объектов, относящихся к населению I типа (сверхассоциацию).*

§ 13. О природе ядер галактик. Наши сведения о ядрах галактик весьма скудны. Говоря о ядрах, мы имеем в виду небольшие образования, обладающие диаметром в несколько парсек, очень высокой поверхностной яркостью и находящиеся в центре галактики [19]. В прошлом году доктор Бааде любезно показал мне снимок ядра галактики М 31. Это действительно удивительное образование, имеющее необычайно высокую поверхностную яркость. К несчастью, даже у сравнительно близких галактик мы не можем выделить ядро из центрального тела звездной системы. Это связано с ограниченной разрешающей силой наших телескопов.

Выше мы пришли к выводу, что ядра могут делиться, а также выбрасывать спиральные рукава и радиальные струи, содержащие в себе сгущения. Однако, спонтанное деление *звездной системы*, состоящей из одних лишь звезд кажется динамически невозможным. Поэтому, если ядра состоят только из звезд, то мы должны отказаться от развитых выше представлений о фундаментальной роли ядра в генезисе галактик и в деле формирования спиральных рукавов. Серьезная трудность возникает из того факта, что плотность нейтрального водорода в области ядра не превосходит плотность водорода во внешних частях (например, в рукавах) нашей Галактики. Вследствие малого объема ядра это означает совершенно ничтожное суммарное количество нейтрального водорода в нем. Между тем, в некоторых случаях мы наблюдаем истечение вещества из ядра почти непосредственно. Я имею в виду не только струи в NGC 4486 и NGC 3561, но и истечение межзвездного водорода из центра нашей Галактики, открытое голландскими астрономами. Согласно сообщению Ван дер Холста, скорость этого истечения составляет около 50 км/сек . Мощность истечения такова, что за промежутки времени 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 придти в квазиустойчивое состояние под влиянием собственного притяжения, т. е. превратиться в звезды.

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

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

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

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

§ 14. О повторении процессов возникновения компонент и рукавов. Многие спиральные галактики имеют сложное строение, свидетельствующее

щее 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 *пространственном* расположении спиральных ветвей других галактик, тем не менее обзор изображений большого числа внешних галактик в проекции приводит к впечатлению, что спиральная структура не всегда сосредоточена в одной плоскости. Это в частности касается галактик, обладающих внешней и внутренней спиральными структурами. В некоторых случаях их плоскости, по-видимому, не совпадают. Если это так, то можно думать, что после возникновения одной из спиральных структур ядро галактики, а возможно и осколки, удаляющиеся от него, продолжают оставаться потенциальными центрами активных космогонических процессов. С другой стороны, несомненно, существуют ядра, которые уже утратили эту способность. Наконец, существуют галактики без ядер (как например, галактики типа Скульптора), где не может быть и речи о формировании новых структурных элементов. Такая градация интенсивности космогонической деятельности, по-видимому, в какой-то степени зависит от массы и светимости галактики. 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, расположено в области особенно бедной межзвездным газом. Об этом свидетельствуют как обычные наблюдения с помощью небулярных спектрографов, так и радионаблюдения нейтрального водорода. Между тем эта ассоциация является одной из самых богатых среди тех, которые об-

наружены в нашей Галактике. Она особенно богата звездами сверхгигантами. Предположение о том, что возникновение ассоциаций сразу привело к исчерпанию газа, является искусственным. Более того, наличие очень ярких сверхгигантов, возраст которых не превышает 10^6 лет указывает на то, что формирование звезд в этой ассоциации продолжается. А это совершенно несовместимо с гипотезой о возникновении звезд из газа.

2. Плотность межзвездного газа в Малом Магеллановом Облаке не меньше, а, пожалуй, больше, чем соответствующая плотность в Большом Магеллановом Облаке [20]. Между тем, Большое Магелланово Облако гораздо богаче ассоциациями и особенно ассоциациями, состоящими из звезд очень высокой светимости. Допустить, что в Малом Магеллановом Облаке ассоциации еще не успели возникнуть, нельзя. В самом деле, время, необходимое для образования ассоциаций, должно быть самое большее порядка 10^7 лет. Между тем современное распределение газа в Малом Облаке должно было существовать не менее чем 10^8 лет. Более того, мы наблюдаем непосредственно некоторое число О-ассоциаций в Малом Облаке. Но они беднее звездами высокой светимости, чем большинство ассоциаций Большого Облака.

3. Наблюдения показывают, что распределение нейтрального водорода в Галактике, гораздо лучше коррелируется с распределением классических цефеид, чем с распределением О-ассоциаций. В частности представляет интерес тот факт, что в Малом Магеллановом Облаке классических цефеид особенно много. Поэтому, несомненно, что происхождение классических цефеид так или иначе связано с межзвездным газом. Если считать, что звезды возникают из газа, то это означает, что процесс превращения газа в звезды в Малом Облаке идет уже давно. Это делает еще более острым противоречие, указанное в предыдущем пункте.

4. Г. Мюнч обратил внимание на то, что в 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, возник-

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

С другой стороны, Кукаркиным [27] настойчиво выдвигался другой взгляд, согласно которому среди населения II типа должны встречаться не только старые, но и молодые звезды, отличные по своей природе от звезд населения I типа.

Нам кажется, что эта дилемма является фундаментальной как для теории звездной эволюции, так и для проблемы эволюции галактик. Поэтому на этом вопросе необходимо остановиться подробнее.

В свое время мы указывали [21], что огромное различие в законах распределения скоростей звездных населений I и II типа делает невозможным предположение об эволюционных переходах из одного типа в другой. Действительно, изменения в законе распределения скоростей звезд, происходящие под влиянием их взаимных сближений, требуют сроков порядка 10^{13} лет и больше, т. е. промежутков времени, во много раз превосходящих возраст наблюдаемых звезд и галактик. Однако Спицер и Шварцшильд показали, что если допустить существование в Галактике достаточного числа массивных тел (например, комплексов диффузных облаков с массами порядка 10^5 — 10^6 масс Солнца), промежуток времени, необходимый для заметных изменений в распределении скоростей звезд уменьшается до величины порядка 10^9 — 10^{10} лет [22]. Спицер и Шварцшильд считают, что именно этот механизм действует в нашей Галактике. Однако оказывается, что и при таком допущении столь большое изменение, как превращение какой-либо плоской подсистемы в сферическую подсистему, требует сроков намного превышающих среднюю продолжительность жизни звезд.

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

Такое заключение само по себе не противоречит допущению, что в начальной стадии своего развития эти звезды по своему физическому строению могли быть сходны со звездами населения I типа. Однако могут быть приведены серьезные факты, свидетельствующие о возрастных различиях среди звезд населения II типа и, в частности, о наличии среди них сравнительно молодых звезд. Так, согласно Переку [23], среди населения II типа мы имеем некоторое количество объектов, галактические орбиты которых являются «гиперболическими». В числе этих объектов имеются типичные представители населения II типа, в том числе шаровое скопление NGC 5694. Исходя из того, что энергия орбитального движения звезд практически не подвергается существенным изменениям, мы должны заключить, что эти объекты образовались в нашей Галактике недавно (порядка 10^8 лет тому назад).

Правда, возможно и другое объяснение, согласно которому все объ-

екты, 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 бы значительная часть населения I типа, то, наряду со сферической подсистемой звезд типа RR Лиры, мы наблюдали бы богатую плоскую подсистему этих переменных звезд.

Все сказанное заставляет думать о двух различных путях развития звезд плоских и сферических подсистем.

Отрицая возможность существования молодых звезд среди населения II типа, иногда приводят и тот аргумент, что среди населения II типа нет достаточно массивных туманностей, чтобы из них могли образоваться молодые звезды. Однако этот аргумент может считаться существенным только до тех пор, пока предполагается, что звезды возникают из туманностей. Как мы указывали выше, следует считать вероятной другую точку зрения, согласно которой и звезды, и туманности возникают совместно из более плотных образований. В таком случае особенностью звезд населения II типа должно являться то, что туманности, возникающие вместе с ними, обладают относительно малой массой, вследствие чего мы не наблюдаем массивных туманностей на больших расстояниях от плоскости Галактики.

Сейчас трудно указать, какие именно из наблюдаемых различных стадий развития звезд населения II типа являются начальными, непосредственно следующими за процессом звездообразования. Нам кажется, что сведения в этом отношении скорее всего могут быть получены путем изучения шаровых скоплений, составляющих крайний пример населения II типа.

Согласно фон Хернеру [25], наблюдаемые лучевые скорости шаровых скоплений могут быть удовлетворительно объяснены на основе ги-

потезы о движении их в Галактике по прямолинейным или очень вытянутым орбитам. Если эти орбиты действительно таковы, то нужно считать, что шаровые скопления были выброшены из центрального ядра Галактики. Допущение, что столь плотные образования, как шаровые скопления, возникают в самой плотной области Галактики, кажется совершенно естественным. Но тогда мы приходим к идее о возможности группового возникновения звезд и среди населения II типа. Возможно, далее, что все остальное население этого типа, не входящее в шаровые скопления, также возникло в каких-то группах, которые, в отличие от наблюдаемых шаровых скоплений, обладали положительной полной энергией. Однако, за отсутствием наблюдательных данных по этому вопросу, вряд ли имеет смысл развивать дальше это предположение. Все сказанное свидетельствует о том, что *образование звезд сферических подсистем идет независимо от образования звезд плоских подсистем.*

§ 17. О двойных спиральных. 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 вращательный момент, равный по порядку величины большим вращательным моментам наблюдаемых спиральных галактик, то в случае возникновения двух спиральных систем сумма вращательных моментов должна была продолжать оставаться малой. Это условие может быть легко удовлетворено в случае, если вращательные моменты образовавшихся спиралей направлены в противоположные стороны. В таком случае следует ожидать, что направление закручивания спиралей в такой паре должно быть противоположным, т. е. угол между этими направлениями должен быть близок к 180° .

При проверке этого вывода следует иметь в виду четыре обстоятельства: 1. Пара спиралей должна быть изолирована. Если совместно возникли три тела, то момент полученный третьим телом, мог бы компенсировать общий момент рассматриваемой пары. 2. Мы должны быть уверены, что рассматриваемая пара является физической. 3. Если наклоны двух галактик к небесной сфере близки к 90° , то при небольшом отклонении действительного угла между моментами двух галактик от 180° нам может показаться, что спирали закручены в противоположные стороны. Поэтому такие пары не должны рассматриваться. 4. Направление спиральных рукавов должно быть выражено достаточно четко.

Было отобрано 20 пар сравнительно ярких спиралей на картах Паломарского атласа (которые нашей обсерваторией получены еще не полностью), по возможности удовлетворяющих указанным требованиям. Из этих 20-ти 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 М 31 и М 33 также могут рассматриваться, как изолированная пара. Является фактом, что они показывают противоположное направление спиральных рукавов.

Если же не ограничиваться изолированными парами, то можно остановиться на случаях, когда в группе встречаются две галактики, связанные между собой мостом. В тройной системе Уилда каждые две связанные мостом галактики показывают противоположное направление рукавов. В известном скоплении галактик в Геркулесе замечательная пара сросшихся между собой близнецов-спиралей удовлетворяет тому же правилу. Нам кажется, что этот вопрос заслуживает внимательного исследования.

Вывод. У большинства физических пар спиральных галактик направление рукавов компонент является противоположным.

Бюраканская астрофизическая обсерватория
АН Армянской ССР

Поступило 15 VII 1958

Վ. Հ. Համբարձումյան

ԳԱԼԱԿՏԻԿԱՆԵՐԻ ԷՎՈԼՅՈՒՑԻԱՅԻ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ի Մ

Գալակտիկաների կույտերի և բազմազալակտիկաների վերաբերյալ գոյություն ունեցող տվյալները հարուստ նյութ են հանդիսանում գալակտիկաների էվոլյուցիայի հարցերն ուսումնասիրելու համար: Ներկա աշխատություն մեջ փորձ է արվում մոտենալ այդ հարցերին առանց a priori ընդունվող որևէ ենթադրություն:

Արվում են մի շարք եզրակացություններ, որոնց մի մասը կարելի է հաստատված համարել, իսկ մյուս մասը դեռ ենթակա է ստուգման: Ստորև բերում ենք այդ եզրակացությունների մի մասը՝

1. Մետազալակտիկայի ժամանակակից վիճակում գալակտիկաների կույտերի ու բազմազալակտիկաների զարգացումը ընթանում է մի ուղղությամբ՝ ժամանակի ընթացքում նրանք քայքայվում են: Հակառակ պրոցեսը, երբ բազմազալակտիկան կամ կույտը առաջանում է իրարից անկախ ծագում ունեցող գալակտիկաներից, չափազանց հազվագյուտ է պատահում ու չի կարող էական դեր խաղալ Մետազալակտիկայի կյանքում:

2. Յուրաքանչյուր խմբի (կույտի կամ բազմազալակտիկայի) բաղադրիչներն ունեն համատեղ ծագում:

3. Բազմազալակտիկաների մեծամասնությունը հատուկ է Տրապեցիայի տիպի տարածական դասավորություն: Այդ վկայում է, որ բազմազալակտիկաների տարիքը ըստ մեծություն կարգի քիչ է գերազանցում նրանց մեջ կատարվող պտույտների պարբերությունները:

4. Բազմազալակտիկաների մի մասում կան բազադրիչներ, որոնց արագությունները թույլ են տալիս նրանց հեռանալ համապատասխան բազմազալակտիկաներից:

5. Գալակտիկաների որոշ կույտերում արագությունների դիսպերսիան այնքան մեծ է, որ նրանք հանդիսանում են քայքայվող (դրական լրիվ էներգիա ունեցող) սիստեմներ:

6. Կարապ A ու Պերսել A ռադիոգալակտիկաները իրենցից ներկայացնում են երկու մասի բաժանվող սիստեմներ:

7. Յուրաքանչյուր բազմազալակտիկայի բազադրիչները առաջանում են մի սկզբնական մարմնի տրոհման հետևանքով: Այդ սկզբնական մարմնի բնույթը նման է խոշոր գալակտիկաներում գոյություն ունեցող կորիզների բնույթին:

8. Գալակտիկաների բաժանման երևույթների կողքին դիտվում են նաև գալակտիկաների կորիզներից դուրս նետվող վիժվածքներ, որոնք հանդիսանում են թզուկ գալակտիկաներ:

9. Բաժանման հետևանքով անշատվող արբանյակները հաճախ պահպանում են իրենց կապը գլխավոր գալակտիկայի հետ թևի միջոցով: Առանձին դեպքերում թևերում հանդիպող խոշոր խտացումները (գերաստղասփյուռները) ըստ երևույթին ունեն նույնանման ծագում: Այդ տեսակետից դժվար է սկզբունքային սահման անցկացնել արբանյակ գալակտիկաների և գերաստղասփյուռների միջև:

10. Փաստերը վկայում են, որ արբանյակները, ինչպես և թևերը, առաջանում են գալակտիկայի կորիզում գտնվող նյութից: Ըստ երևույթին, առաջացման այդ պրոցեսն ընթանում է ի հաշիվ կորիզում գտնվող նախաստղային խոշոր զանգվածների:

11. Կրկնակի սպիրալ գալակտիկաներում բազադրիչների թևերի ուղղությունը գերազանցապես իրար հակառակ է:

ЛИТЕРАТУРА

1. Амбарцумян В. А., Ученые записки ЛГУ, № 22, Серия математических наук (астрономия), вып. 4, 19—22, 1938.
2. Амбарцумян В. А., Астрономический журнал, **14**, 207—219, 1937.
3. Амбарцумян В. А., Эволюция звезд и астрофизика, Ереван, 1947.
4. Амбарцумян В. А., Астрономический журнал, **26**, 3, 1949; A. Blaauw, BAN, **11**, 465, 1952.
5. Zwicky F., PASP, **50**, 218, 1938; **64**, 247, 1952.
6. Neuman J., Scott E. L. and Shane C. D., Ap. J., **117**, 92, 1953.
7. Амбарцумян В. А. ДАН Армянской ССР, **13**, 129, 1951; Сообщения Бюраканской обсерватории, № 15, 1954.
8. Holmberg E., Annals of the Lund Observatory, № 6, 1937.
9. Амбарцумян В. А., Известия АН Армянской ССР, серия физико-математических наук, **9**, 23, 1956.
10. Seyfert C., PASP, **63**, 72, 1951.
11. Holmberg E., Meddelande Lund Observatory, Ser. II, № 136, 1958.

12. *Guido Münch*. A. J., **62**, 28, 1957; Report of the Director, Mount Wilson and Palomar Observatories, 1955—1956, p. 49.
13. *Zwicky F.*, Ergebnisse d. exakt. Naturwissenschaften, Bd. **29**, 344, 1956.
14. *Humason M. L.*, *Mayall N. U.* and *Sandage A. R.*, A. J., **61**, 97, 1956.
15. *Minkowski R.*, Report to the Meeting of the AS Pacific, Pasadena, June 21, 22, 1955.
16. *Heeschen D. S.*, Ap. J., **124**, 660, 1956; PASP, **69**, 350, 1957.
17. *Baade W.* and *Minkowski R.*, Ap. J., **119**, 215, 1954.
18. *Амбарцумян В. А.*, и *Шахбазян Р. К.*, ДАН Армянской ССР, **25**, 185, 1957.
19. *Baade W.*, IAU symposium № 5, p. 1. Cambridge, 1958.
20. *Buscombe W.*, *Gascoigne C. C. B.* and *de Vaucouleurs G.*, Problems of the Magellanic Clouds, Austr. Journal of Sc. Supplement, 1955.
21. *Ambarzumian V.*, On the mean life-time of the cluster type variables, Observatory, **58**, № 732, 152, 1935.
22. *Spitzer L.* and *Schwarzschild M.*, Ap. J., **114**, 385, 1951.
23. *Perek*, AN, **283**, 213, 1956.
24. *Воронцов-Вельяминов Б. А.*, Астрономический журнал, **34**, 8, 1957.
25. *Hoerner C. V.*, Zs. für Astrophysik, **35**, 255, 1954.
26. *Burbidge C. R.* and *Burbidge E. M.*, Handbuch der Physik, Bd. **51**, (в печати).
27. *Кукаркин Б. В.*, Исследование строения и развития звездных систем, М.—Л., 1949.