

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

# ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

2

---

МОСКВА · 1969

# ЯДРА ГАЛАКТИК\*

В. А. АМБАРЦУМЯН  
академик

**Ядра галактик — центральные звездообразные или почти звездообразные сгущения — играют фундаментальную роль в жизни галактик. Радиогалактики, выбросы газа из галактик и даже спиральные ветви галактик — все это результат активности ядер.**

Как известно, астрономия делится на три основных раздела: астрономия солнечной системы, астрономия нашей Галактики и внегалактическая астрономия. Объем мирового пространства, исследуемый вторым из этих разделов, почти в  $10^{20}$  раз больше объема, изучаемого первым, а объем, изучаемый в третьем разделе, в  $10^{16}$  раз больше, чем объем, который исследует астрономия нашей Галактики.

Я остановлюсь на некоторых основных вопросах внегалактической астрономии.

Известно, что каждая галактика содержит миллиарды, а иногда сотни миллиардов звезд. К числу сверхгигантских галактик, т. е. наиболее богатых звездами, можно отнести нашу Галактику и галактику М 31 в Андромеде.

Как правило, яркость и плотность в галактиках возрастают к центру. Но кроме этого более или менее плавного возрастания яркости к центру, в самом центре многих галактик были замечены очень маленькие по размерам (иногда в сотни, а иногда в тысячи раз меньшие, чем диаметр галактики) дискретные, звездообразные сгущения. При хорошо

подобранной экспозиции эти дискретные сгущения отчетливо видны на photographиях на фоне общего центрального уплотнения. Вот эти центральные звездообразные или почти звездообразные сгущения и называются ядрами галактик. Галактика в Андромеде имеет ядро, диаметр которого в 5000 раз меньше, чем диаметр самой галактики.

На photographиях ядра некоторых галактик совершенно тонут на фоне яркого центрального сгущения. Однако во многих случаях можно подобрать экспозицию так, что ядро все-таки будет видно. Известны и галактики, у которых ядро резко выделяется. Эти ядра, подобно звездам, имеют очень малые угловые размеры.

У некоторых галактик ядра совсем не видны, но о существовании ядра можно судить по прямым признакам его активности. Известно, например, что в галактике М 82 около 1,5 млн. лет назад произошел грандиозный взрыв, и из ее центральной части к нам приходит интенсивное радиоизлучение. Но на снимках М 82, полученных с разной экспозицией, ядра не видно. Заметим, что ядро нашей Галактики скрыто от нас поглощающей материей, но благодаря заметному радиоизлучению ядра мы уверены, что ядро существует.

Ядра галактик в течение многих десятилетий считали обычными деталями галактик,

\* Сокращенный текст доклада, прочитанного автором на общем собрании Академии наук СССР 27 ноября 1968 г. Полный текст доклада будет опубликован в сборнике «Наука и человечество», «Знание», 1969 г.



*ГАЛАКТИКА М 31 В АНДРОМЕДЕ. Ядра этой галактики не видно на фоне яркого центрального сгущения*

а их изучению уделялось сравнительно мало внимания.

Были известны только отдельные факты об их физической природе. Так, было известно, что спектры многих ядер мало отличаются от спектров окружающих центральных областей. В спектрах ядер весьма часто видны неглубокие, размытые линии поглощения, по своим длинам волн совпадающие с наиболее интенсивными линиями поглощения тех звезд, которые населяют центральные области галактик. Это давало основание считать, что каждое ядро — это своеобразное звездное скопление, погруженное в центральную часть галактики.

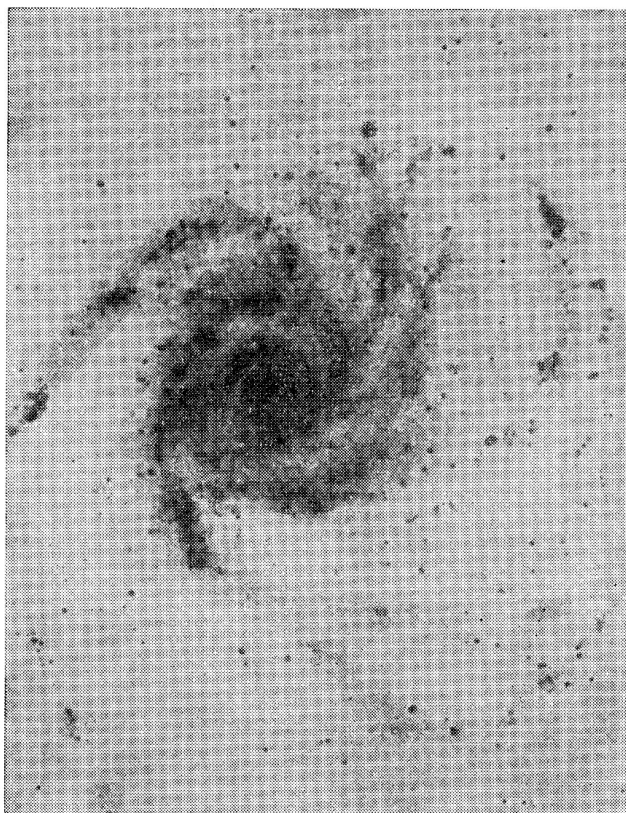
Что касается светимости ядер, то она оказалась самой различной. У многих галактик она настолько низка, что ядро фактически мы не наблюдаем в оптических лучах, у других она достигает 0,1—3% от светимости галактики. И лишь в отдельных случаях она составляет значительную часть светимости галактики.

Поскольку в галактиках часто встречаются шаровые и открытые звездные скопления, существование ядер, состоящих только из звезд, не вызывало больших недоумений в 40-е годы.

В 1943 г. Сейферт опубликовал замечательное исследование спектров ядер нескольких галактик, у которых ядра резко выделяются своей светимостью на фоне центральных частей галактики, составляя иногда до 50% ее яркости. Он нашел восемь галактик, в спектрах которых наблюдаются очень яркие и очень широкие линии водорода. Большая ширина этих линий свидетельствует о существовании в ядре газовых потоков, двигающихся со скоростью 1000 и даже 2000—3000 км/сек. Эти газы через несколько миллиардов лет (срок весьма малый по сравнению со временем жизни галактики) должны покинуть ядро. Если в ядре существуют газовые потоки, то там должны быть и тела, выбрасывающие их. Более детальные исследования, выполненные иностранными и советскими астрономами, показали, что в ядрах галактик Сейферта имеются отдельные дискретные облака, уходящие из ядер с большими скоростями.

Дальнейшие исследования позволили установить, что и в галактиках с менее яркими ядрами мы тоже наблюдаем истечение газов из ядра, хотя и менее бурное. По существу, такое же истечение газов происходит из ядра нашей Галактики.

Открытие газовых потоков в ядрах галактик

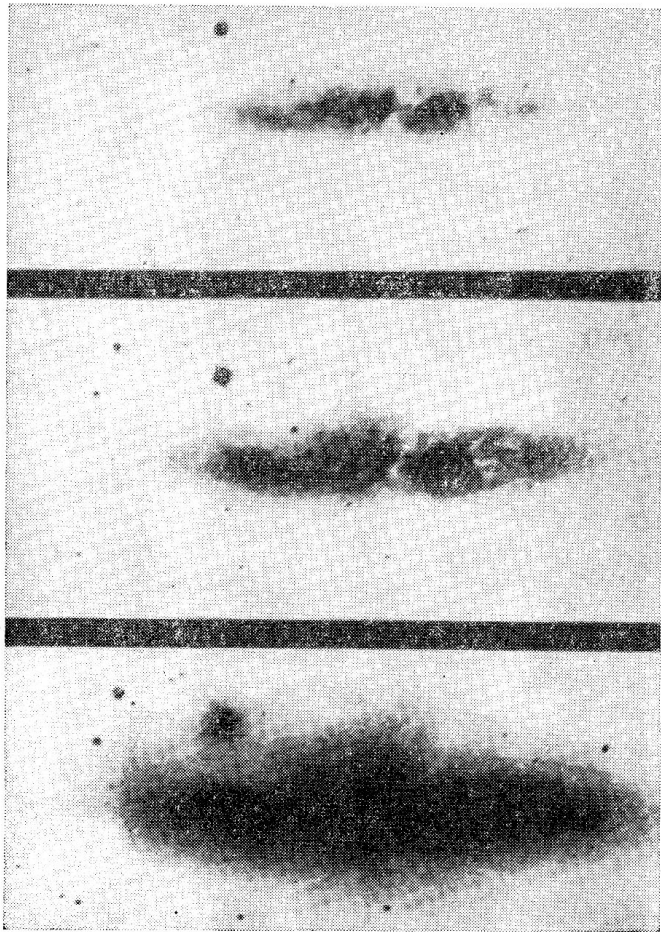


ГАЛАКТИКА M 101 В БОЛЬШОЙ МЕДВЕДИЦЕ (негатив). В центре этой галактики видно небольшое яркое ядро

Сейферта привело к выводу, что ядра галактик, в отличие от звезд и обычных звездных групп, могут обладать своеобразной, качественно новой для нас, формой активности.

Однако решающее значение для развития представлений об активности ядер галактик имело обнаружение радиогалактик. Радиогалактики были открыты в 1952 г., причем авторы этого открытия, В. Бааде и Р. Минковский, одновременно с опубликованием наблюдений предложили теорию, согласно которой возникновение радиоизлучения в галактике объяснялось столкновением двух прежде независимых галактик. С самого начала было очевидно, что эта теория противоречит многим наблюдательным данным. Однако ее внешняя эффективность послужила причиной того, что в 50-е и даже в начале 60-х годов эта теория была разрекламирована гораздо шире, чем любая другая астрономическая теория.

В настоящее время гипотеза о столкновении галактик совершенно забыта. Стало оче-



*ГАЛАКТИКА М 82 В БОЛЬШОЙ МЕДВЕДИЦЕ (негатив). На снимках, сделанных с различными экспозициями, ядро незаметно. Либо ядро очень слабое, либо скрыто от нас поглощающей материей*

видно, что в ядре каждой радиогалактики происходил сверхмощный взрыв, энергия которого достигала величины порядка  $10^{60}$  эрг. Такую энергию гигантская галактика, состоящая из десятков миллиардов звезд, испускает в оптической области за 1 млрд. лет. Более того, эта энергия сравнима с кинетической энергией движения всех звезд данной галактики. Это совершенно потрясающая по количеству энергии. Так, приблизившись к пониманию природы радиогалактик, астрономы приступили к изучению самых грандиозных энергетических процессов Вселенной.

У одной из ближайших к нам радиогалактик — Девы А — наблюдается истекающая из ядра струя с отдельными сгущениями. Каждое сгущение состоит из электронов высокой энергии, движущихся в магнитных полях. У другой гигантской галактики — NGC 3561 — струя выходит непосредственно

из ядра и тянется на большое расстояние. На самом конце струи — сгущение.

Это сгущение значительно слабее сверхгигантской галактики, из которой оно выброшено. Сгущение имеет интенсивно голубой цвет, как и многие другие объекты такого же типа, обнаруженные позднее. Спектр сгущения сильно отличается от спектра других галактик тем, что значительная часть его излучения заключена в одной линии — линии ионизованного кислорода с длиной волны 3727 Å. А самое поразительное то, что в спектре выброса ядра галактики, из которой он выброшен.

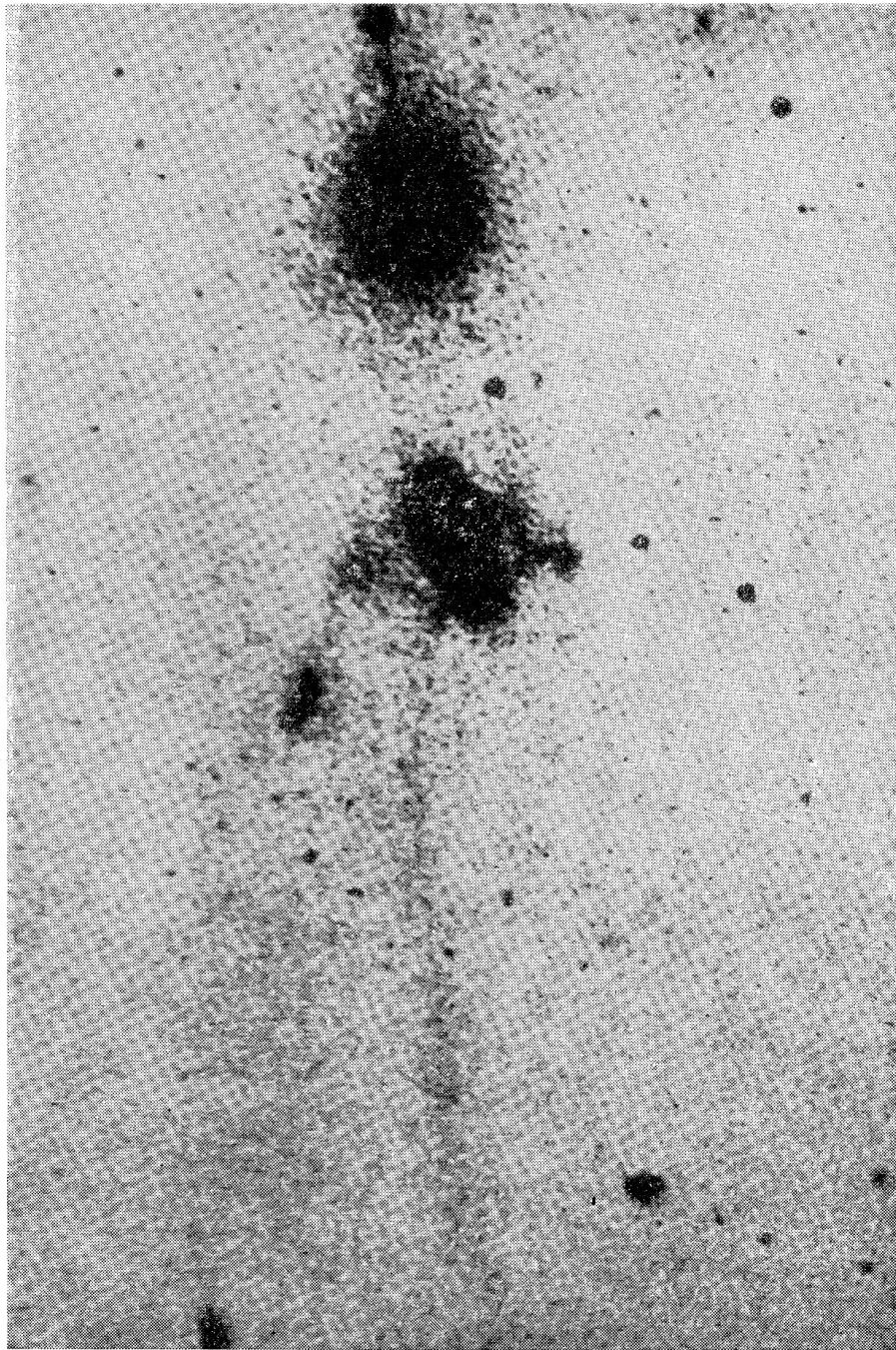
Поэтому сейчас нет сомнений, что сгущение — действительно выброс, а если хотите, — деление ядра галактики на две части. Мы не знаем еще, состоят ли подобные выбросы только из газов или в них имеются и более плотные тела (или одно плотное тело), которые могут дать начало звездам и превращению такого выброса в настоящую галактику.

Часто, когда мы наблюдаем две (или несколько) близкие друг к другу галактики, формы галактик бывают искажены. Объяснить эти искажения формы непросто, но, по видимому, и здесь явления, связанные с ядрами, играют значительную роль. Большая заслуга в изучении взаимодействующих галактик принадлежит профессору Б. А. Воронцову-Вельяминову, который издал замечательный атлас взаимодействующих галактик.

Таким образом, стало очевидно, что существуют, по крайней мере, три формы активности ядер: истечение газов, выбрасывание голубых сгустков и взрывы, приводящие к превращению галактики в радиогалактику.

Новый этап в исследованиях ядер галактик связан с работой сотрудника Бюраканской обсерватории члена-корреспондента АН АрмССР Б. Е. Маркаряна. Маркарян обнаружил, что нормальная зависимость между цветом галактики и ее морфологическим типом иногда нарушается. (Обычно при переходе от эллиптических галактик к спиральным и далее к иррегулярным цвет становится все более голубым.) Некоторые галактики имеют более голубой цвет, чем тот, который соответствует их морфологическому типу. Оказалось, что отклонение цвета галактики от нормы (посинение) более велико, когда мы рассматриваем цвет только центральной части, т. е. цвет суммарного излучения ядра и околоядерной области.

*ГАЛАКТИКА NGC 3561 (негатив).  
Непосредственно из ядра этой галактики тянется струя, на конце которой имеется «голубое» сгущение с очень небольшими угловыми размерами*



Известно, что на периферии спиральных галактик, в спиральных рукавах, расположено много ассоциаций голубых звезд, которые имеют голубой интегральный цвет. Но усиление центральных частей галактик не может быть обусловлено голубым излучением звездных ассоциаций. Голубой цвет центральных частей галактик должен быть вызван какой-то дополнительной причиной, связанной, воз-

можно, с деятельностью ядра. По-видимому, мы имеем дело с каким-то дополнительным излучением, которое было названо в Бюракане «незвездным» или «нетепловым».

Сотрудник Бюраканской обсерватории Г. М. Товмасын исследовал на двух крупнейших австралийских радиотелескопах радиоизлучение подобных галактик, обладающих аномальным цветом. Оказалось, что более

половины из них обладают радиоизлучением, исходящим из центральной околоядерной области. Однако это — не радиогалактики, а гораздо менее интенсивные радиоисточники, дающие сильное нетепловое излучение от маленькой центральной области оптической галактики.

Исследования радиоизлучения от других, главным образом, спиральных галактик с нормальным цветом показали, что и среди них имеются объекты, дающие радиоизлучение от центральной области. Однако процент подобных объектов среди нормальных галактик в несколько раз меньше.

Таким образом, активность ядер проявляется еще и в голубом цвете ядер и околоядерной области. Кстати отметим, что голубой цвет означает и наличие интенсивного ультрафиолетового спектра (ультрафиолетового континуума) у центральных частей данной галактики.

Надо сказать, что нам известны цвета (показатели цвета) лишь небольшого числа галактик. Накопление этих данных в астрономии за последнее время шло чрезвычайно медленно, так как каждая галактика наблюдалась в отдельности щелевым спектрографом либо же фотоэлектрическим фотометром. Естественно, что наблюдатели были вынуждены ограничиться исследованием спектров и цветов наиболее ярких галактик.

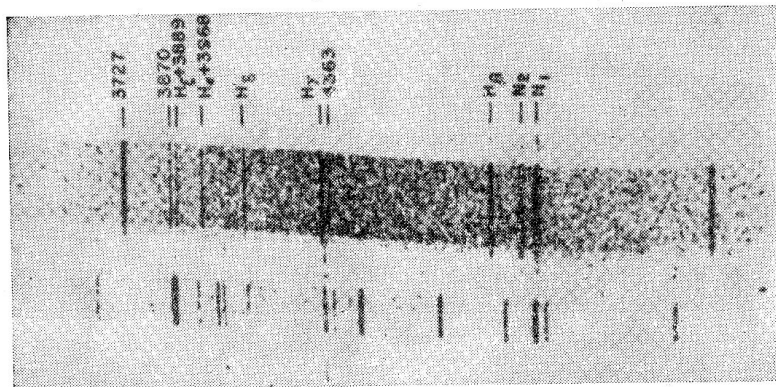
Положение совершенно изменилось, когда в нашей стране для метрового телескопа системы Шмидта Бюраканской обсерватории были изготовлены объективные призмы. Появилась возможность одновременно получать с небольшой дисперсией спектры сразу многих звезд и галактик, находящихся на площади около 20 квадратных градусов. Сфотографировав эти спектры, мы можем немедленно выбрать среди сотен или тысяч галактик (то же относится к звездам) те, спектры

которых обладают интересующим нас свойством, например интенсивным ультрафиолетовым континуумом. Затем выбранные галактики можно, образно выражаясь, передать для изучения на щелевых спектрографах с большой дисперсией. Так возникли составленные Маркаряном списки голубых галактик, точнее, галактик с ультрафиолетовым континуумом.

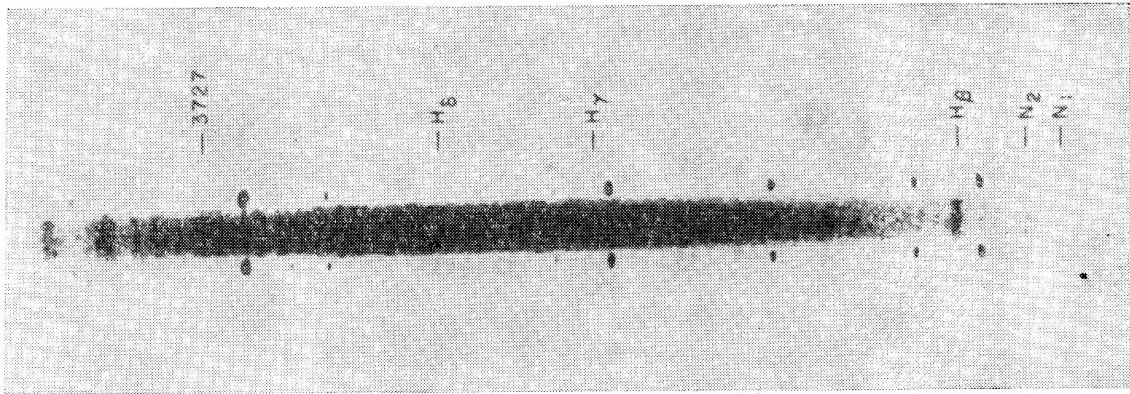
Наблюдения полусотни галактик Маркаряна, выполненные сотрудником Бюраканской обсерватории Э. Е. Хачикяном на крупнейших американских рефлекторах со щелевыми спектрографами, показали, что за редким исключением все галактики имеют очень яркие эмиссионные линии. У четырех галактик из списка Маркаряна эмиссионные линии водорода оказались очень широкими. Большая ширина водородных линий характерна именно для галактик Сейферта. Так Э. Е. Хачикяну удалось открыть среди галактик Маркаряна четыре объекта типа Сейферта. Для сравнения укажем, что за 25 лет, прошедших с опубликования работы Сейферта, к его первоначальным восьми объектам этого типа было прибавлено три. А ведь пока подробно изучено меньше четверти открытых Маркаряном галактик с ультрафиолетовым континуумом.

У половины галактик Маркаряна излучение ультрафиолетового континуума и излучение в эмиссионных линиях сконцентрированы в небольшой околоядерной области. Эти галактики — компактные объекты. В этом отношении они напоминают квазизвездные объекты (квазары), которые были открыты в 1963 г. и вызвали всеобщий интерес. Однако светимость этих компактных объектов в сотни и более раз ниже средней светимости известных нам квазаров.

Светимости ядер (подчеркиваю, одних лишь ядер) некоторых галактик Маркаряна



*СПЕКТР ГАЛАКТИКИ МАРКАРЯН 5. Самые яркие и широкие линии в спектре — линии дважды ионизованного кислорода  $N_1$  и  $N_2$ . Рядом с этими линиями видна линия водорода  $H_\beta$ . Ее ширина меньше, чем ширина линий дважды ионизованного кислорода*



*СПЕКТР ГАЛАКТИКИ МАРКАРИАН 42. В этом спектре очень широки линии водорода (например  $H_{\beta}$ ), а линии  $N_1$  и  $N_2$  дважды ионизованного кислорода много слабее. Эта галактика относится к числу галактик Сейферта*

сравнимы с интегральными светимостями гигантских и сверхгигантских галактик. Эти ядра по многим своим свойствам близки к квазизвездным объектам. С другой стороны, не зарегистрировано ощутимого потока радиоизлучения от ядер многих компактных галактик. Таким образом, несколько уступая квазарам в оптической светимости, эти объекты во много раз больше уступают им в радиосветимости.

Я должен сказать, что очень много пишут о том, являются ли квазары столь далекими объектами, как это вытекает из их лучевых скоростей. Я абсолютно уверен, что они действительно очень далекие объекты. И тогда они очень тесно, очень хорошо связываются с ядрами галактик Сейферта и так называемыми N-галактиками, значительная часть излучения которых сконцентрирована в их ядрах.

Поскольку мы затронули вопрос о сходстве явлений, наблюдаемых в активных ядрах галактик, со свойствами квазаров, я позволю себе остановиться на последних.

Квазары обладают теми же свойствами, которыми активные ядра галактик отличаются от других ядер и от других галактик, только эти свойства выражаются в наиболее крайней и наиболее яркой форме. Выше мы видели, что к этим свойствам относятся: высокая светимость, голубой цвет и наличие ультрафиолетового континуума, компактность и яркие эмиссионные линии в спектрах. Прибавим сюда еще переменность светимости во времени, о которой мы не упоминали.

Интенсивное радиоизлучение, характерное

для квазаров, встречается сравнительно редко у активных ядер галактик и даже у галактик типа Сейферта, хотя более слабое радиоизлучение, по-видимому, имеется у всех активных ядер.

Нужно сказать, что еще в 1965 г. американский астрофизик А. Сендидж вместе с сотрудниками привели наблюдательные данные, свидетельствующие о существовании квазизвездных внегалактических объектов высокой светимости, отличающихся от квазаров лишь тем, что они не дают интенсивного радиоизлучения.

Сендидж тогда выразил мнение, что таких квазизвездных оптических источников примерно в 500 раз больше, чем квазаров. Анализ аргументов Сендиджа показал, что, хотя такие «оптические» квазары существуют, численность их много меньше. Скорее всего число квазизвездных оптических объектов лишь в 50 раз превосходит число квазаров той же видимой яркости. В 1968 г. было опубликовано новое исследование Сендиджа, в котором говорится, что оптических квазизвездных объектов примерно в 100 раз больше, чем квазаров.

По существу, и те и другие можно объединить в один общий класс голубых квазизвездных объектов, небольшая часть которых испускает интенсивное радиоизлучение и поэтому носит название квазаров. Следовательно, и по этому признаку устанавливается сходство между активными ядрами галактик и квазизвездными голубыми объектами.

Таким образом, вырисовывается следующая схема общей классификации внегалактиче-



ских объектов по степени их компактности и по светимости ядер:

1. Галактики с нормальными ядрами;
2. Галактики с активными (возбужденными) ядрами, среди которых можно выделить галактики Сейферта;
3. Голубые квазизвездные объекты, в число которых входят и квазары. В каждой из этих групп можно найти объекты с более или менее интенсивным радиоизлучением.

Активность ядер галактик и квазаров проявляется в виде мощных взрывов, при которых выбрасываются огромные сгустки и облака газа с массой, в миллионы раз превосходящей массу Солнца, а также в виде возбуждения эмиссионных линий и ультрафиолетового континуума в окружающем ядро газе.

Понятно, что с момента обнаружения этих явлений встал вопрос об их причинах, об источниках огромных количеств энергии и вещества, освобождающихся в результате активности ядра. В связи с этим было обращено внимание на то, что все рассматриваемые активные процессы в ядрах связаны с рассеянием выделенной в небольшом объеме энергии, с разбрасыванием и экспансией вещества, с переходом вещества из более плотного состояния в разреженное.

С другой стороны, все классические представления о происхождении и эволюции космических тел и космических систем исходили из предположения о сгущении вещества и образовании плотных тел из разреженных газовых масс. Для сторонников таких классических взглядов новые факты, относящиеся к активности ядер галактик, так же как свидетельства в пользу того, что эта активность играет существенную роль для эволюции каждой галактики в целом, оказались большой неожиданностью и даже неприятностью. Поэтому-то вплоть до 60-х годов многие пытались отрицать, или, по крайней мере, игнорировать факты, относящиеся к активности ядер галактик.

Но еще в 1958 г., когда мне пришлось впервые выступить на Сольвейской конференции с докладом, посвященным в основном проблемам активности ядер, некоторые представители классического направления в космогонии предложили попытаться найти объяснение описанных нами явлений в терминах катастрофического сжатия большой газовой массы, окружавшей центр галактики, и последующего в результате этого взрыва.

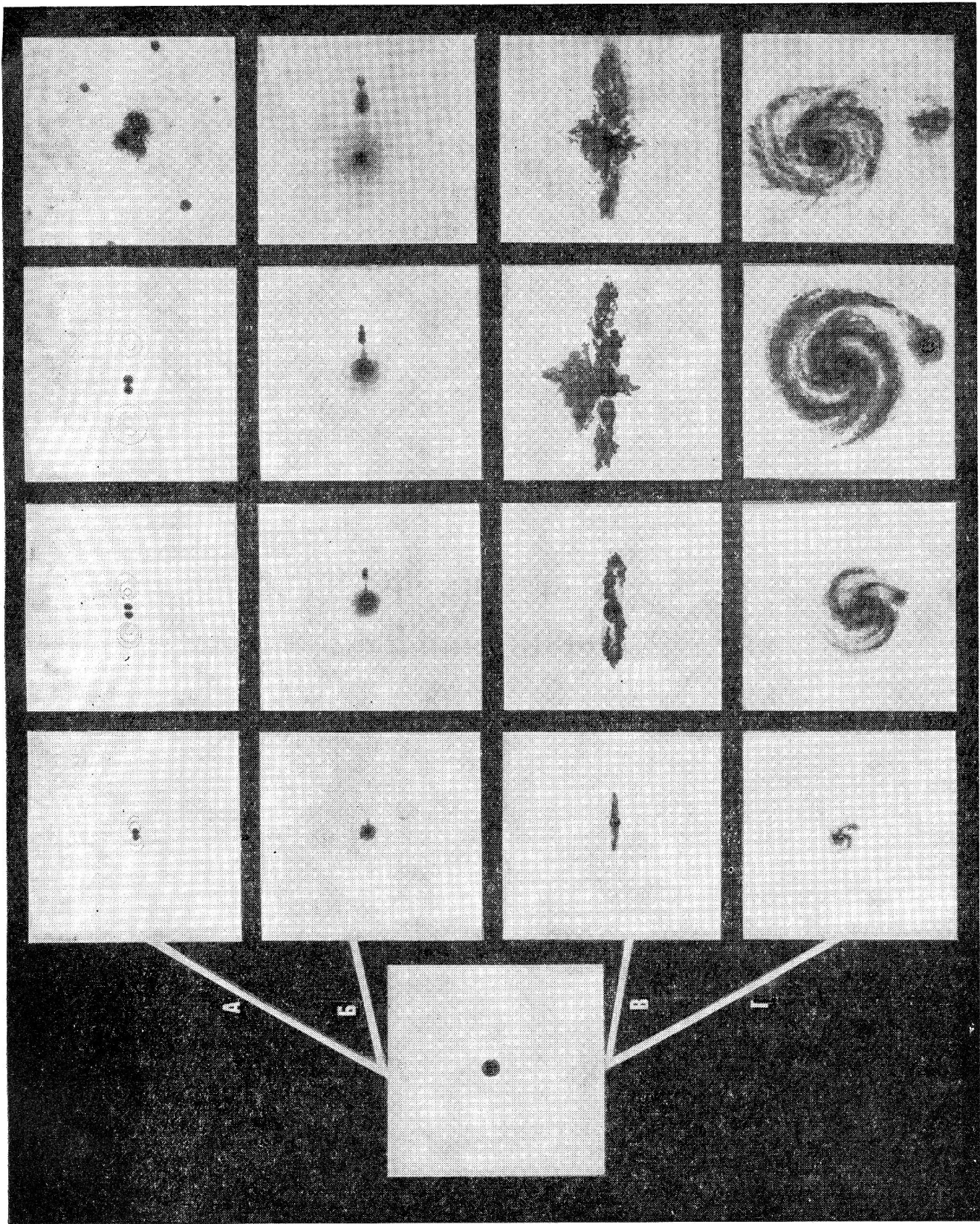
Несмотря на всю искусственность попыток объяснить повсеместно наблюдаемые явления расширения и выбросов первоначальным катастрофическим сжатием, эта гипотеза, получившая название гипотезы коллапса, несколько лет обсуждалась в науке.

Гипотеза коллапса встречается с рядом трудностей при попытке построения на ее основе даже самой грубой теории явления. Однако она должна быть отвергнута и по другой причине. Дело в том, что ей противоречат факты, относящиеся к повторяемости взрывов. Так, несомненно, было по меньшей мере три последовательных взрыва в радиогалактике Центавр А, сопровождавшихся каждый раз выбросом пары излучающих облаков. По мнению М. Райла, есть аналогичные свидетельства в пользу последовательных взрывов также и в других радиогалактиках. Гипотезе коллапса противоречат, в частности, и явления выброса относительно плотных газовых сгустков — голубых галактик, а в особенности случаи, когда последовательно выбрасывалось несколько сгустков.

Наконец, согласно гипотезе коллапса, мы должны были наблюдать, наряду с галактиками типа Сейферта, во много раз большее число галактик, у которых вокруг центра были бы сосредоточены гигантские газовые массы, не обладающие сколько-нибудь заметным вращением. Но этого вовсе не наблюдается.

Другая гипотеза исходит из представления, что ядро галактики на более раннем этапе развития представляло собой некоторую автономную звездную систему, состоящую из сотен миллионов звезд, помещенную в центре галактики. Согласно законам динамики звездных систем, такое большое звездное скопление должно было с течением времени терять звезды и сокращаться в размерах. При достижении относительно малых размеров ядра (около парсека в диаметре) возрастала вероятность прямых столкновений между звездами. Известно, что вне ядра, в окружающей галактике, такие столкновения настолько редки, что ими совершенно пренебрегают. Частые столкновения между звездами должны вести ко многим необычным явлениям, и в частности, к обнажению недр звезд, возникновению общей газовой оболочки из «ободранных» поверхностных слоев отдельных звезд, звездным взрывам и т. д.

По мнению ряда авторов, такая гипотеза при ее разработке может объяснить различные необычные явления в ядрах. Очевидно,



СХЕМЫ РАЗВИТИЯ ГАЛАКТИКИ при различных проявлениях активности ядер: А — деление ядра и выброс радионизлучающих облаков; Б — выброс из ядра галактики струи со сгущениями, которые затем превращаются в голубые галактики; В — выброс газовой материи при взрыве в ядре галактики; Г — формирование спиральных ветвей и спутника галактики из вещества ядра. Слева фотографии галактик, обладающих соответствующими проявлениями активности ядер

что эта гипотеза — более усовершенствованный вариант той же гипотезы коллапса. Нам кажется, что она заслуживает серьезного обсуждения. Однако и она наталкивается на некоторые трудности, особенно при объяснении повторных взрывов и повторных направленных выбросов газовых сгустков.

Третья гипотеза, возникшая в Бюраканской обсерватории одновременно с зарождением самых первоначальных представлений об активности ядер галактик, заключается в том, что материя, выбрасываемая при взрывах, с самого начала входила в состав некоего сверхмассивного гипотетического тела, составляющего сердцевину ядра. Согласно этой гипотезе, ядро тем и отличается от других компактных звездных групп, например звездных скоплений, что оно содержит очень массивное и довольно плотное тело. Активность ядра — это результат деятельности этого сверхмассивного тела, масса которого может достигать сотен миллионов или даже миллиардов масс Солнца. Поскольку предполагается, что такое тело может существовать в ядре длительное время, то повторяемость как выбросов радиоизлучающих облаков, так и выбросов газовых сгустков в виде небольших голубых галактик не вызывает каких-либо затруднений. По этой гипотезе ядро образовалось в уже существовавшей галактике, а галактика возникла в результате активности ядра. Образование радиоизлучающих облаков, выброшенных из центрального ядра, является с этой точки зрения лишь одним из примеров космогонической активности ядра.

Тот факт, что спиральные рукава галактик выходят из ядра, полностью гармонирует с этой картиной. А возможность фрагментации ядра и особенно последовательной фрагментации сверхмассивного тела открывает перспективу объяснения кратных галактик и существования скоплений галактик. Многие характерные свойства скоплений галактик становятся понятными на этой основе.

Мы не хотим утверждать, что изложенная выше в грубых чертах гипотеза не имеет своих трудностей. Тем более, она не является сколько-нибудь последовательной теорией. Наоборот, мы допускаем, что ее можно будет превратить в правильную теорию, внося в нее некоторые новые идеи и улучшения. Но она позволила объединить огромное множество фактов, предвидеть многие новые факты, а главное, указала на предвзятость существовавших представлений о конденсации га-

лактик из межгалактического диффузного вещества.

Если мы примем эти представления, то мы должны сделать вывод, что ядро галактики, теряя за время своей жизни огромные массы вещества, претерпевая взрывы и даже, иногда, фрагментацию, должно с течением времени сильно меняться. Нет ничего неестественного в предположении, что на некотором этапе первоначальное ядро совершенно исчезает. И действительно, некоторые галактики вовсе лишены ядер. Правда, в одних случаях можно думать, что они невидимы из-за отдаленности галактики. Но в других случаях (например, у Магеллановых Облаков — очень близких к нам галактик) отсутствие ядер можно считать установленным фактом.

В результате современного развития астрономии, применения все более мощных оптических и радиотелескопов Вселенная совершенно изменилась в наших представлениях. Еще 30 лет назад она казалась нам спокойным и даже торжественным миром почти неизменных неподвижных звезд. Сегодня мы наблюдаем бурную деятельность тех же звезд, переживающих грандиозные вспышки, быстро эволюционирующих и часто весьма активно взаимодействующих друг с другом. Открытие радиотуманностей и радиогалактик привело нас к представлениям о быстрых изменениях в еще более крупных масштабах. Сегодня мы обсуждаем самые величественные процессы, происходящие в ядрах галактик и квазарах.

Вселенная — это быстро и глубоко изменяющийся мир, наполненный богатейшим разнообразием жизненных процессов космических тел. Я сознательно употребил слова «жизненные процессы», чтобы подчеркнуть сложность, разнообразие и вместе с тем автономность многих процессов развития, которые мы изучаем. Новые телескопы, которые уже строятся, позволят нам проникнуть в самую суть этих процессов.