

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ВЕСТНИК
АКАДЕМИИ НАУК
СССР

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

2

МОСКВА · 1969

ПРОБЛЕМЫ АСТРОФИЗИКИ

ЯДРА ГАЛАКТИК

Академик
В. А. АМБАРЦУМЯН

Как известно, астрономия делится на три основных раздела: астрономия солнечной системы, изучающая Солнце, планеты, спутники и кометы,

астрономия нашей Галактики, изучающая устройство нашей звездной системы и физические свойства ее членов — звезд, звездных скоплений и туманностей,

внегалактическая астрономия, изучающая галактики и другие внегалактические тела и системы.

Объем пространства, которым занимается второй раздел, почти в 10^{20} раз больше изучаемого первым разделом, а мировое пространство, исследуемое третьим разделом, в 10^{16} раз больше изучаемого вторым разделом. Речь далее пойдет о третьем разделе — внегалактической астрономии.

Будем считать известным, что галактики представляют собой гигантские звездные системы, каждая из которых содержит миллиарды звезд, а иногда (галактики-сверхгиганты) сотни миллиардов звезд. К числу сверхгигантских галактик может быть отнесена и наша Галактика. Более ярким сверхгигантом, обладающим к тому же большей массой и более богатым звездным населением, является один из близких соседей нашей Галактики — система М31 в созвездии Андромеды.

Бесспорен факт, что, как правило, все галактики имеют более плотные центральные части, т. е. их яркость и плотность возрастают к центру. Но кроме этого более или менее плавного возрастания яркости к центру, у многих галактик отмечено наличие в самом центре очень маленьких по размеру (иногда в сотни, а иногда в тысячи раз меньше, чем диаметр галактики) дискретных, звездообразных сгущений. Временами, при хорошо подобранной экспозиции, эти дискретные сгущения, звездообразные или почти звездообразные ядра хорошо видны на фотографиях, на фоне общего центрального уплотнения, о котором уже говорилось. Но в большинстве случаев они совершенно незаметны, так как для получения снимка галактики в целом применяются длительные экспозиции, в результате чего центральная часть оказывается передержанной и дискретное звездообразное сгущение в центре не видно.

Вот эти центральные звездообразные или почти звездообразные сгущения и называются ядрами галактик. Например, галактика в созвездии Андромеды имеет такое ядро, диаметр которого в 5000 раз меньше диаметра самой галактики. На рис. 1, 2, 3 представлены снимки хорошо известных галактик М31 и М81, на которых ядра совершенно теряются на фоне яркого центрального сгущения, и снимок галактики Маркарян 10,

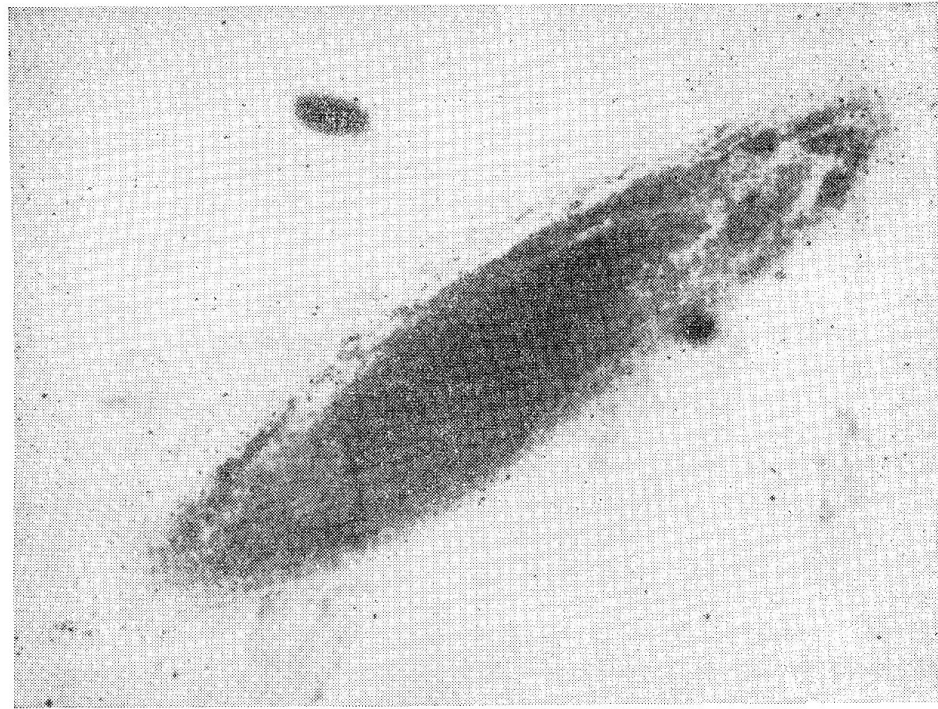


Рис. 1. Галактика М31

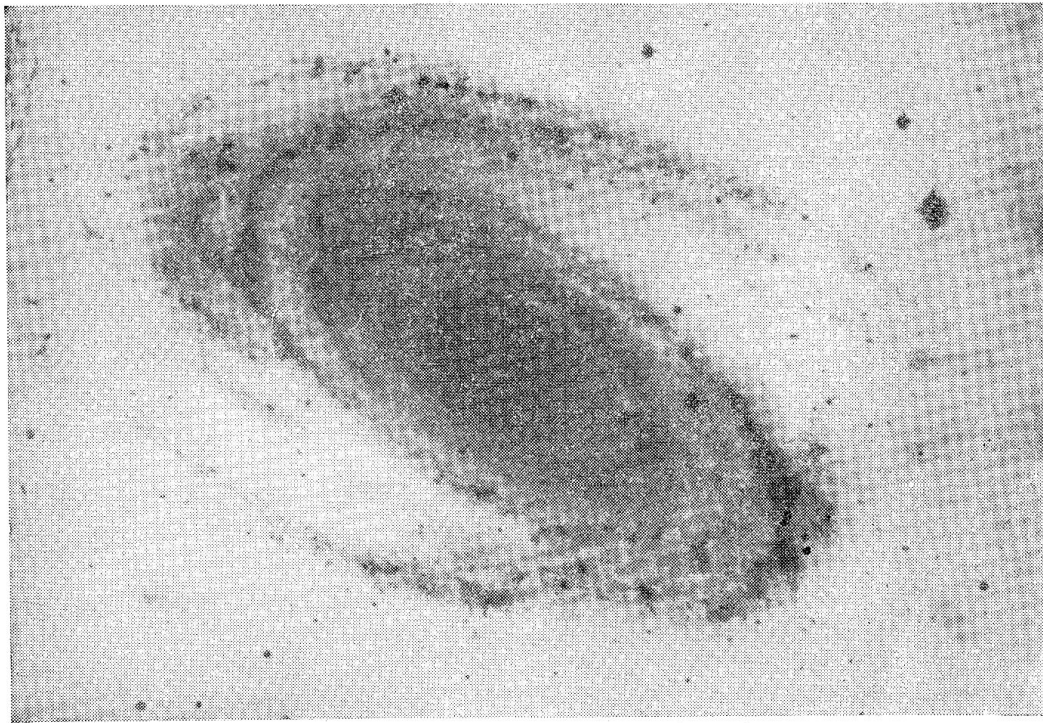


Рис. 2. Галактика М81

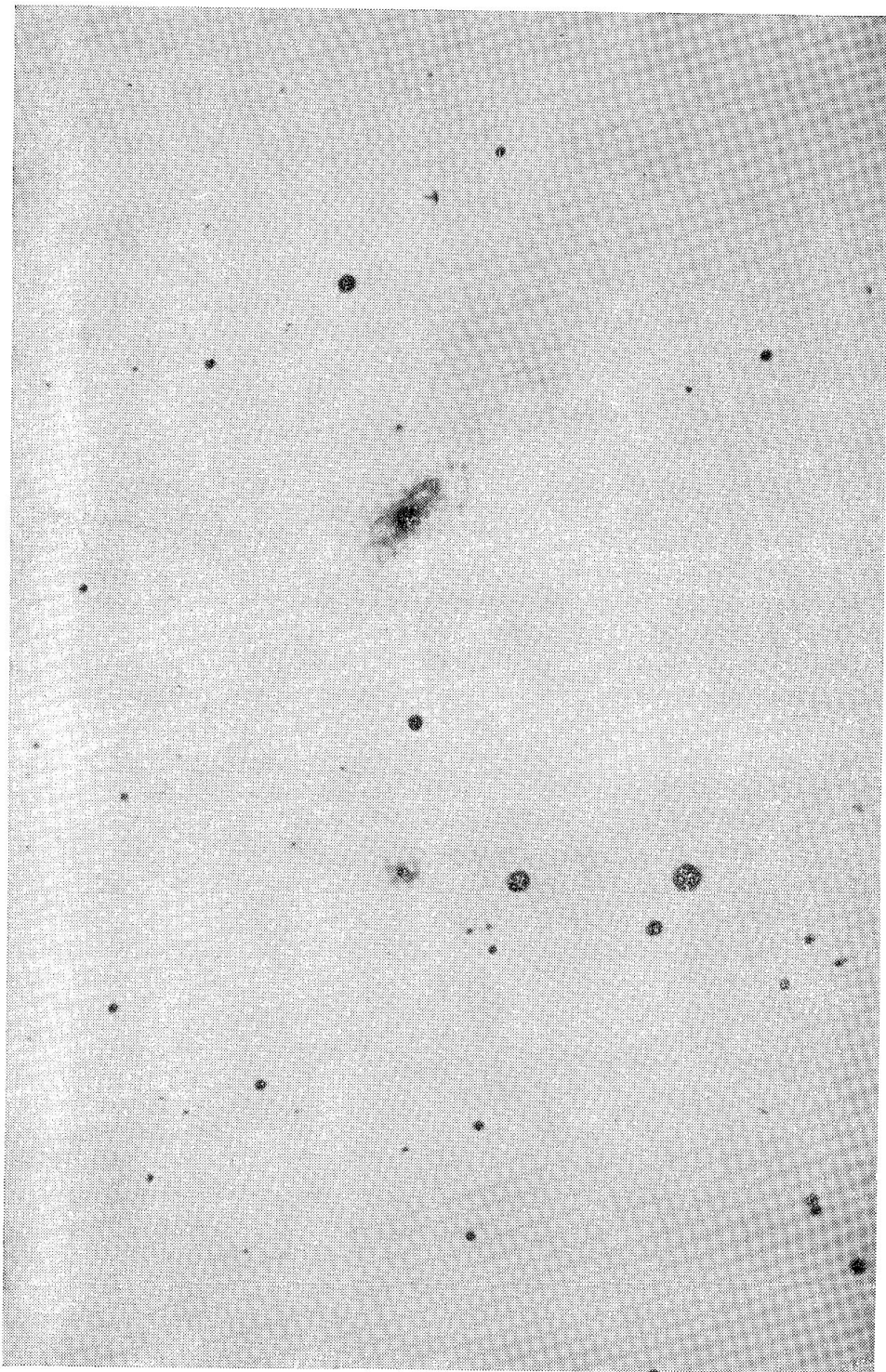


Рис. 3. Галактика Маркарян 10

где ядро благодаря своей огромной светимости резко выделяется.

Галактика Маркарян 10 по относительной яркости ядра, или, иными словами, по его различимости, является весьма редким объектом. Однако во многих других случаях можно подобрать экспозицию так, что ядро все-таки видно. Есть, тем не менее, галактики, где ядро не наблюдается совсем из-за его слабой светимости, но, исходя из строения центральной части галактики, все же можно почти с уверенностью утверждать, что оно существует.

Несколько забегая вперед, я хочу сказать, что у ряда галактик, у которых ядро вовсе не видно, о его существовании можно судить по прямым признакам его активности. Известно, например, что в галактике М82 примерно полтора миллиона лет назад произошел грандиозный взрыв и из его центральной части к

нам доходит интенсивное радиоизлучение. Но на снимках М82, полученных с разной экспозицией, не видно изображения ядра (рис. 4). Либо оно очень слабо, либо скрыто от нас поглощающей материей. Заметим, что по этой последней причине мы не видим в оптических лучах ядро нашей Галактики и только благодаря заметному радиоизлучению ядра мы уверены в его существовании. Есть и такие случаи, когда излучение ядра складывается с излучением окружающего его довольно плотного, но небольшого по объему звездного облака. Примером может служить галактика NGC 4303 (рис. 5).

В течение многих десятилетий на ядра галактик смотрели так же, как на другие рядовые детали строения соответствующих галактик, и их исследованию уделялось сравнительно мало внимания.

Были изучены только некоторые относящиеся к их физической природе факты, не дававшие оснований приписывать ядрам ту фундаментальную роль, которую они на самом деле играют.

Первые наблюдения указывали, что спектры многих ядер мало отличаются от спектров окружающих центральных областей, т. е. показывают неглубокие, размытые линии поглощения, по длинам волн совпадающие с наиболее интенсивными линиями поглощения тех звезд, которые населяют центральные области галактик.

Это давало основание полагать, что каждое ядро — своеобразное звездное скопление, погруженное в центральную часть галактики. Малая глубина линий поглощения правильно объяснялась тем, что здесь происходит наложение света звезд, одни из которых имеют в спектре данную линию,

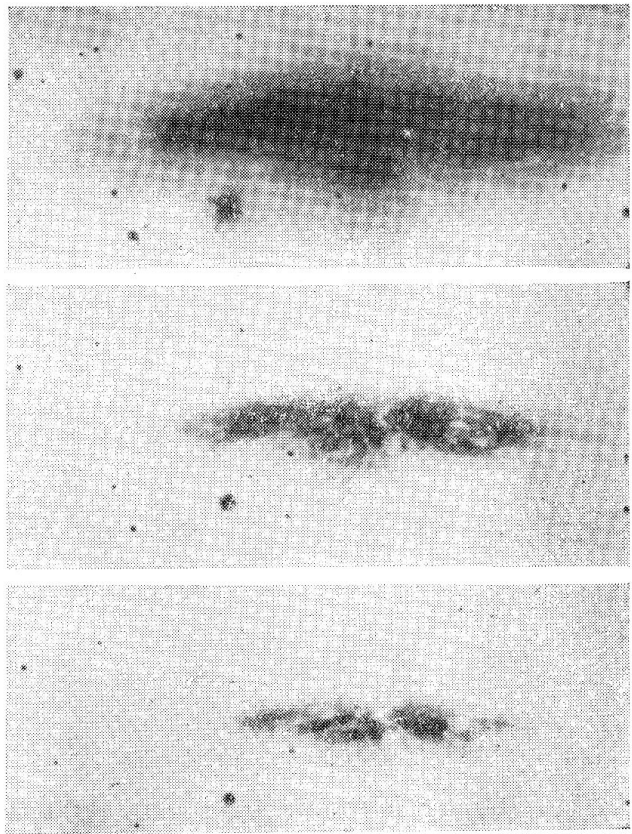


Рис. 4. Галактика М82, снятая с различными выдержками (максимальная экспозиция — верхний снимок)



Рис. 5. Галактика NGC 4303

Поскольку в галактиках часто встречаются в качестве их отдельных коллективных членов шаровые и открытые звездные скопления, то существование ядер, которые по представлению 40-х годов состоят целиком из звезд, не вызывало ни особо трудных вопросов, ни больших недоумений.

Поэтому удивительно, что сравнительно мало внимания было обращено на работу американского астронома Сейферта, опубликовавшего в 1943 г. замечательное исследование спектров ядер нескольких галактик — ядер, которые на фоне центральных частей галактики резко выделяются своей светимостью, составляющей иногда до 50% яркости галактики.

Им было найдено восемь таких галактик, у которых водородные линии, наблюдавшиеся в эмиссии (т. е. в излучении), очень ярки и сильно расширены. Большая ширина водородных линий свидетельствует о существовании в ядре газовых потоков, обладающих скоростями порядка 1000 км/сек, а иногда достигающих 3000 км/сек. Эти газы должны уходить из ядра, преодолевая силу его притяжения в течение нескольких десятков тысячелетий, самое большее — за время порядка 10^5 лет. Их наличие в ядре говорит о том, что в ядрах имеются тела, выбрасывающие такие газовые потоки.

Подробные исследования иностранных и советских астрономов показали, что речь идет о присутствии в ядре отдельных дискретных облаков, уходящих из ядра с высокими скоростями.

В результате более тонкого изучения других галактик с менее яркими ядрами выяснилось, что и там происходит истечение газов из ядра в окружающий объем галактики, хотя и не столь бурное. По существу такое истечение имеет место и из ядра нашей Галактики. Открытие указанных свойств галактик Сейферта позволяло уже тогда заключить, что в отличие от звезд и обычных звездных групп ядра галактик могут обладать своеобразной, качественно новой формой активности.

Однако решающую роль в развитии представлений об активности ядер галактик сыграло обнаружение радиогалактик, т. е. галактик, испускаю-

а другие — нет. Размытость линий объяснялась дисперсией доплеровских смещений, связанной с дисперсией скоростей самих звезд. Цвета ядер многих галактик были в хорошем согласии с этим представлением.

Что касается светимости ядер, то она оказалась самого различного порядка. У многих галактик она настолько низка, что мы фактически не наблюдаем ядро в оптических лучах, у других она составляет от одной десятой процента до 2—3% светимости галактики и лишь в отдельных случаях — ее значительную часть.

щих особо интенсивное радиоизлучение. Радиогалактики были открыты впервые в 1952 г., причем авторы этого открытия американские астрономы В. Бааде и Р. Минковский одновременно с опубликованием наблюдений предложили теорию, согласно которой возникновение радиоизлучения в галактике, или появление радиогалактики, есть результат столкновения двух прежде независимых галактик. С самого начала было очевидно, что эта теория противоречит многим наблюдательным данным. Однако вследствие внешней эффективности она была разрекламирована в 50-х годах и даже в начале 60-х годов гораздо



Рис. 6. Галактика NGC 3561 (сгущение на конце струи имеет голубой цвет)

больше, чем любая правильная астрономическая теория. Еще в 1953 г., когда нам, в Бюраканской астрофизической обсерватории Академии наук Армянской ССР стало ясно, что это объяснение неверно, мы начали искать новое, более тщательно анализируя наблюдательные данные сперва на основе гипотезы о разделении галактик, затем деления ядра галактики на две части, а потом взрывного выбрасывания из ядра облаков частиц высокой энергии. В настоящее время гипотеза о столкновении галактик совершенно забыта. Очевидно, в ядре каждой радиогалактики имел место сверхмощный взрыв. Энергия этого взрыва достигает величин порядка 10^{60} эрг, т. е. той энергии, которую гигантская галактика, состоящая из десятков миллиардов звезд, испускает в оптической области за миллиард лет. Таким образом, приблизившись к пониманию природы радиогалактики, астрономы подошли к изучению самых грандиозных энергетических процессов во Вселенной.

Исследования одной из ближайших радиогалактик — Девы А — показали, что в ней наблюдается истекающая прямо из ядра струя с отдельными сгущениями, каждое из которых по существу является образованием масштаба малой галактики, но состоит не из звезд, а из электронов высокой энергии, движущихся в магнитных полях. Этот факт толкнул нас на поиски других случаев выброса струи из ядра большой гигантской галактики.

В качестве примера рассмотрим галактику NGC 3561 (рис. 6), у которой струя выходит непосредственно из ядра и протягивается на большое расстояние. Сгущение, наблюдающееся в конце струи, представляет собой галактику умеренной светимости (хотя и значительно слабее сверхгигантской галактики, из которой она выброшена). Это сгущение имеет интенсивно голубой цвет, как и многие другие объекты такого же типа, обнару-

женные в дальнейшем. Спектр данного сгущения был изучен американским астрономом Ф. Цвикки и совсем недавно Стоктоном. Оказалось, что оно сильно отличается от других галактик тем, что значительная часть его излучения заключена в одной линии ионизованного кислорода 3727 Å. Самое поразительное, что спектр выброса и спектр ядра галактики, из которой произошел выброс, совершенно сходны в отношении их главной особенности — ярких эмиссионных линий. Поэтому теперь не может быть никакого сомнения, что это действительно выброс или, если хотите, деление ядра галактики на две части.

Мы не знаем еще, состоят ли подобные выбросы только из газов или же в них имеются и более плотные тела. Возможно, это одно плотное тело, которое может дать начало звездам и превращению такого выброса в настоящую галактику. Существует много дополнительных данных, которые свидетельствуют в пользу того, что галактики низкой светимости являются результатом выброса массы из ядер больших галактик, но их мы здесь не будем касаться. Отмечу только, что в середине струи галактики NGC 3561 имеется звездообразный, или, как теперь говорят, квазизвездный, объект голубого цвета с яркими линиями в спектре; этот объект также можно считать отдельным выбросом. Да и сам большой выброс в его яркой части обладает очень незначительными угловыми размерами.

Так постепенно сформировалось представление о том, что из ядер галактик могут выбрасываться компактные или совсем звездообразные объекты голубого цвета сравнительно низкой светимости. Стало очевидно, что мы имеем дело по крайней мере с тремя формами активности ядер: истечение газов, выбрасывание голубых сгустков и взрывы, приводящие к превращению галактики в радиогалактику. Все эти явления оказались столь крупного масштаба, что не оставляли сомнения в возможности большого влияния ядра на развитие галактики в целом.

Новый этап в этих исследованиях связан с работой сотрудника Бюраканской обсерватории члена-корреспондента АН АрмССР Б. Е. Маркаряна. Им было обращено внимание на то, что известная довольно тесная зависимость между цветом галактики и ее морфологическим типом (при переходе от эллиптических галактик к спиральным и далее к иррегулярным цвет становится все голубее) иногда нарушается. Некоторые галактики имеют более голубой цвет, чем тот, который соответствует их морфологическому типу. Оказалось, что это отклонение цвета галактики от нормы (посинение) гораздо сильнее, когда мы рассматриваем цвет центральной части, т. е. цвет суммарного излучения ядра и околоядерной области.

Известно, что на периферии спиральных галактик в спиральных рукавах много ассоциаций звезд, обладающих голубым интегральным цветом. Однако посинение центральных частей галактик, о котором идет речь, не может быть объяснено этим нормальным голубым излучением звездных ассоциаций. Голубой цвет центральных частей галактик должен быть вызван какой-то дополнительной причиной, предположительно связанной опять-таки с деятельностью ядра.

Очевидно, здесь происходит какое-то дополнительное излучение, которое мы называем в Бюракане «незвездным» или «нетепловым». Было решено прежде всего исследовать объекты, выделенные Б. Е. Маркаряном, для поисков нетеплового радиоизлучения. Соответствующие наблюдения были выполнены нашим радиоастрономом Г. Товмасыном на двух крупнейших австралийских радиотелескопах в Парксе и Молонгло¹. Оказалось, что более половины объектов списка Маркаряна обладает радиоиз-

¹ О работе австралийских астрономов см. в статье Б. Бока «Астрономия в южном полушарии». Ежегодник «Наука и человечество», 1965.

лучением, исходящим из центральной области около ядра. Следует предупредить, что эти объекты — не радиогалактики, а гораздо менее интенсивные радиоисточники, дающие, однако, сильное нетепловое излучение от маленькой центральной области оптической галактики. Параллельные исследования радиоизлучения от других, главным образом спиральных галактик, имеющих нормальный цвет, показали, что и среди них есть объекты с радиоизлучением из центральной области. Однако процент подобных объектов среди нормальных галактик в несколько раз меньше.

Таким образом, было найдено новое проявление активности ядер, выражающееся в голубом цвете ядра и околядерной области. Кстати отметим, что голубой цвет означает и наличие интенсивного ультрафиолетового спектра (ультрафиолетового континуума) у центральных частей данной галактики. Поэтому аномальный цвет можно заменить другим, почти эквивалентным признаком — ультрафиолетовым континуумом.

Надо сказать, что данные о цвете (показателях цвета) известны только для небольшого числа галактик. Накопление этих данных в астрономии шло чрезвычайно медленно, так как каждая галактика наблюдалась в отдельности с щелевым спектрографом либо с фотоэлектрическим фотометром. Естественно, что наблюдатели были вынуждены ограничиться изучением спектров и цвета наиболее ярких галактик.

Положение дел совершенно изменилось после того, как в Ленинграде были изготовлены самые большие в мире объективные призмы для метрового телескопа Шмидта Бюраканской обсерватории. Благодаря этим призмам стало возможным получать с незначительной дисперсией одновременно много спектров звезд и галактик, находящихся в довольно большом поле, площадью около 20 квадратных градусов. Произведя такой снимок, можно среди сотен или тысяч галактик (то же относится к звездам) сразу выбрать те, спектры которых обладают интересующим нас свойством. В данном случае этим свойством было наличие интенсивного ультрафиолетового континуума. Затем выделенные таким способом галактики можно было, образно выражаясь, передать для изучения на щелевых спектрографах с большой дисперсией. Так возникли списки голубых галактик (точнее галактик с ультрафиолетовым континуумом) Маркаряна.

Уже наблюдения с малой дисперсией показали Б. Е. Маркаряну, что галактики с интенсивным ультрафиолетовым континуумом часто имеют в спектре центральной части яркие эмиссионные линии (в отличие от нормальных галактик). Была достигнута договоренность о том, чтобы бюра-

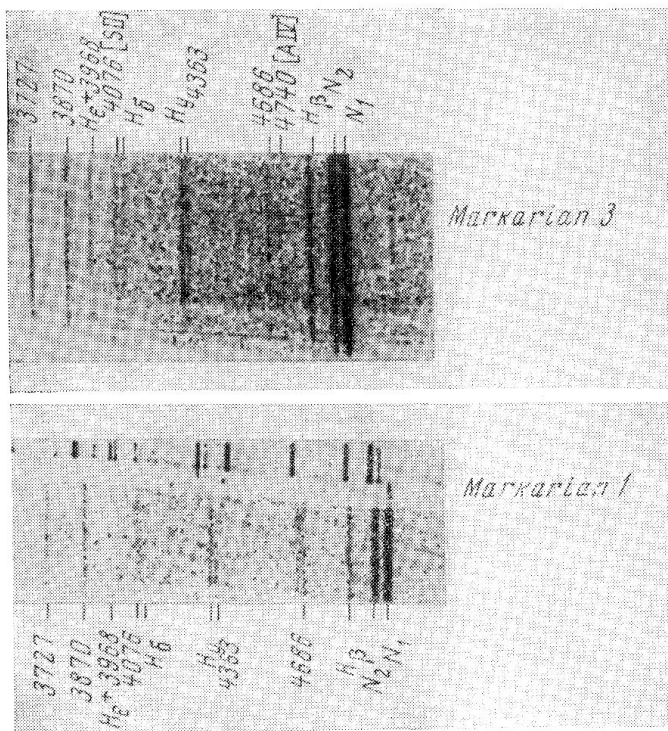


Рис. 7. Спектры галактик Маркарян 1 и Маркарян 3 (числа означают длины волн спектральных линий в Å)

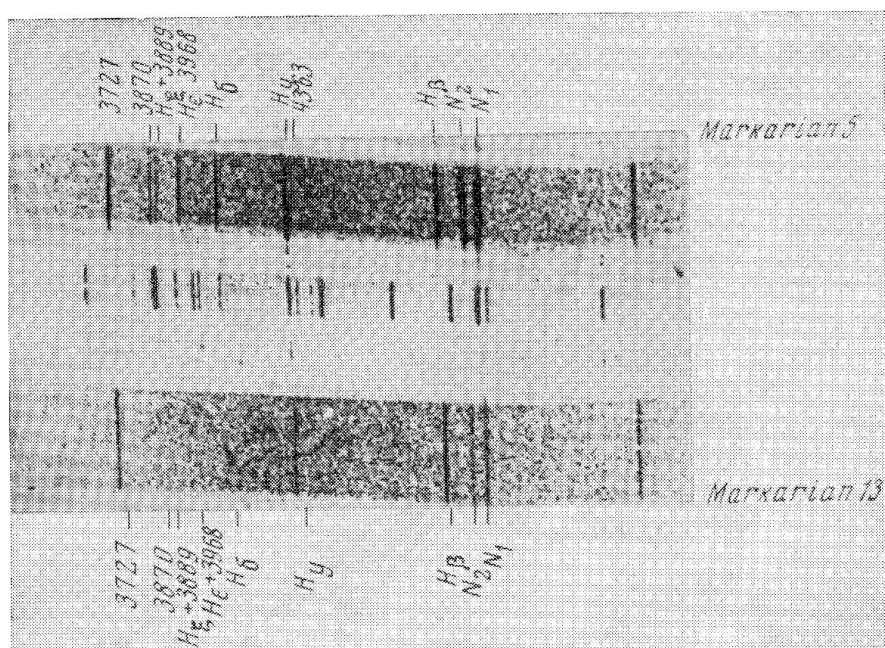


Рис. 8. Спектры галактик Маркарян 5 и Маркарян 13

канские астрономы могли использовать для более подробного исследования галактик Маркаряна спектрографы на крупнейших рефлекторах США. Эту задачу возложили на сотрудника нашей обсерватории Э. Е. Хачикяна, который в сотрудничестве с американскими астрономами успешно с ней справился. Оказалось, что среди галактик, открытых Б. Е. Маркаряном, есть много весьма интересных объектов.

Прежде всего я хочу подчеркнуть, что списки галактик Маркаряна составлены по признаку наличия в их ядрах интенсивного ультрафиолетового континуума. Однако наблюдения со щелевыми спектрографами, охватившие около полусотни галактик Маркаряна, говорят о том, что за редким исключением все они имеют очень яркие эмиссионные линии. Первый же пример — галактика Маркарян 1 (спектрограмма на рис. 7) свидетельствует об этом. Здесь видны яркие запрещенные линии² дважды ионизованного кислорода. Следует обратить внимание также на спектр галактики Маркарян 3, где эти запрещенные линии гораздо шире водородных. Аналогичная картина на рис. 8 в спектре галактики Маркарян 5. Но уже в спектре галактики Маркарян 13 положение выравнивается, и водородная линия H_{β} имеет ту же ширину, что и запрещенные линии.

Совершенно иное положение в спектрах галактик Маркарян 9, 10 и 42 (рис. 9, 10). Правда, и здесь существуют интенсивные линии эмиссии, но можно заметить, что в них водородные линии сильно расширены, в то время как запрещенные линии ионов кислорода остаются узкими. Это, между прочим, и есть важнейшая характеристика спектров галактик Сейферта. Как я уже упоминал, в их ядрах газовые облака движутся со скоростями порядка тысяч километров в секунду. На изображении галактики Маркарян 10 ядро галактики выделяется как особенно интенсивный объект.

Теперь рассмотрим фотографию галактики Маркарян 9 (рис. 11). Здесь ядро дает большую часть света галактики. Таким образом, вновь обна-

² Запрещенные, т. е. спектральные линии, вероятность испускания которых соответствующим атомом очень мала, в условиях разреженного межзвездного вещества становятся иногда весьма интенсивными.

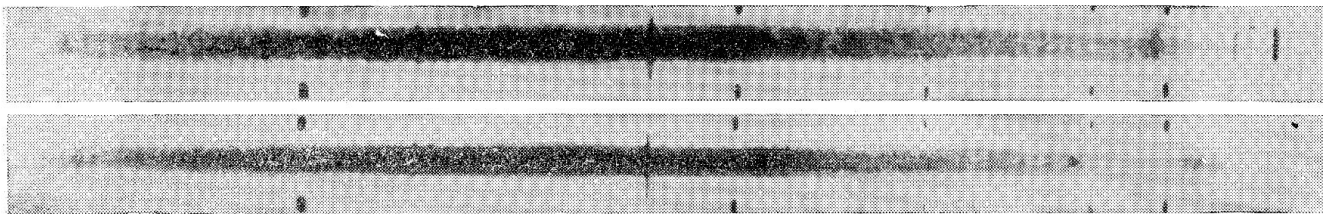


Рис. 9. Спектры галактик Маркарян 9 (вверху) и Маркарян 10

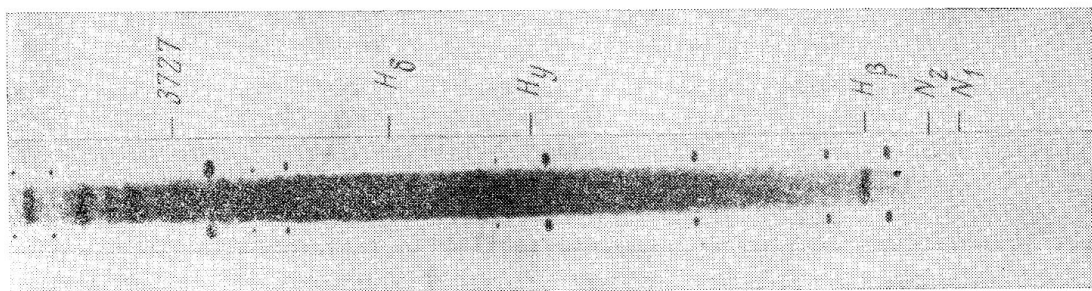


Рис. 10. Спектр галактик Маркарян 42

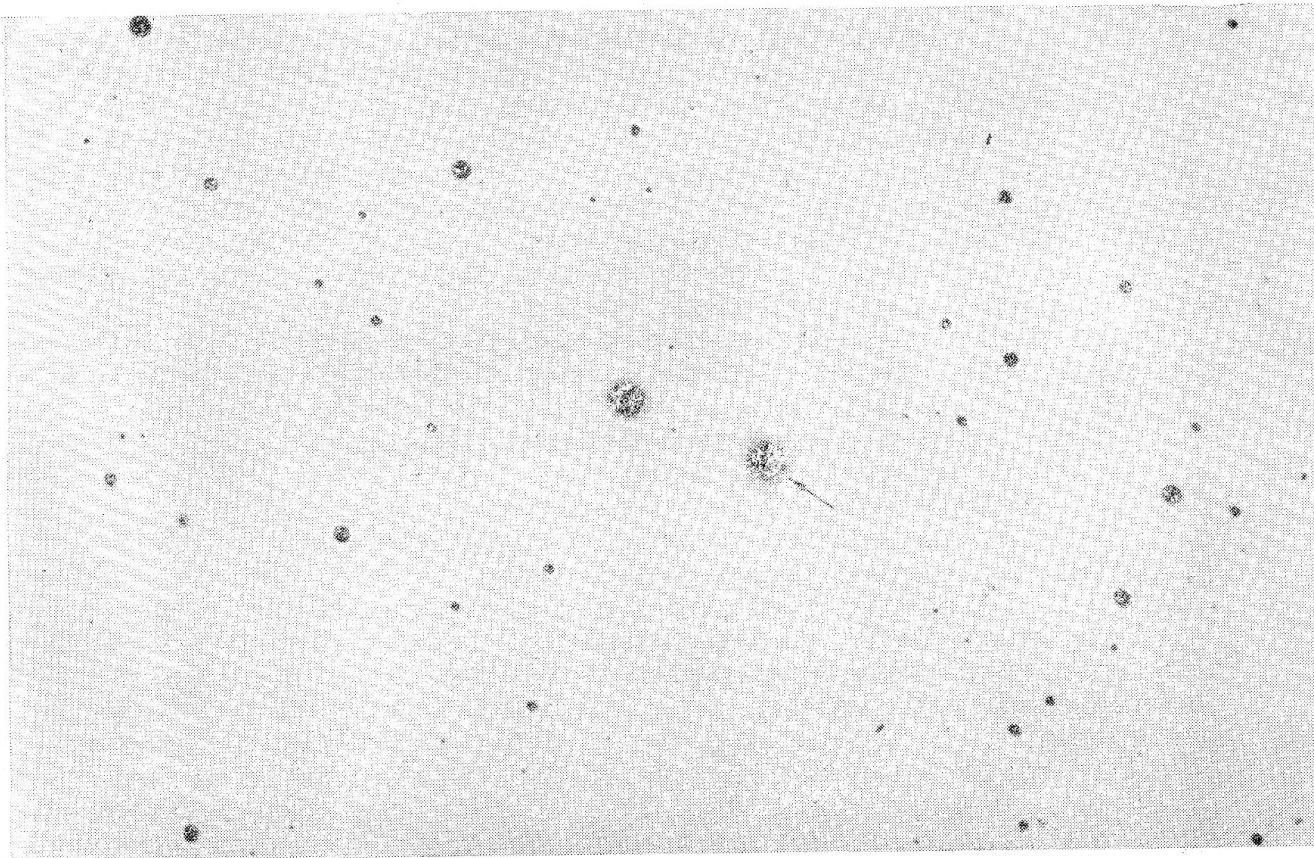


Рис. 11. Галактика Маркарян 9

руженные галактики обладают и этим характерным признаком галактик Сейферта. По существу Э. Е. Хачикяну удалось открыть среди галактик Маркаряна четыре объекта типа сейфертовских. Для сравнения укажем, что за 25 лет, прошедших с опубликования работы Сейферта, к его первоначальному восьми объектам этого типа было прибавлено лишь три. А ведь пока подробно изучено меньше четверти открытых Б. Е. Маркаряном галактик с ультрафиолетовым континуумом.

Около половины галактик Маркаряна обладает тем свойством, что излучение ультрафиолетового континуума и излучение в эмиссионных линиях сконцентрированы в небольшой околядерной области. В этом смысле они (т. е. половина галактик Маркаряна) являются компактными объектами и напоминают квазизвездные объекты (квazarы), которые были открыты в 1963 г. и вызвали всеобщий интерес.

Однако светимость всех этих компактных объектов гораздо ниже средней светимости известных нам квазаров (по крайней мере в двести раз слабее), хотя и намного выше светимости упоминавшихся нами компактных выбросов из галактик NGC 3561.

Если же говорить только о галактиках 9, 10 и 42 из списка Маркаряна и об одной из компактных галактик списка Цвикки, то светимости их ядер (подчеркиваю, одних лишь ядер) уже вполне сравнимы с интегральными светимостями гигантских и сверхгигантских галактик. Следовательно, ядра новых галактик типа Сейферта, найденных Э. Е. Хачикяном, по многим своим свойствам близки к квазизвездным объектам. С другой стороны, те из них, у которых наблюдатели искали радиоизлучение, не показали ощутимого потока такого излучения. Отсюда следует, что, несколько уступая квазарам в оптической светимости, эти объекты во много раз больше уступают им в радиосветимости.

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

Квазизвездные радиоисточники обладают в наиболее крайней и наиболее ярко выраженной форме теми свойствами, которыми активные ядра галактик отличаются от других ядер и других галактик. Как мы видели, этими свойствами являются высокая светимость, голубой цвет и наличие ультрафиолетового континуума, компактность, присутствие ярких эмиссионных линий в спектрах. Прибавим сюда переменность светимости во времени, о которой не упоминалось.

Переменностью блеска отличаются многие из квазаров (возможно все, этот вопрос только изучается) и ядра галактик Сейферта, а может быть, и другие активные ядра. При этом наибольшая амплитуда изменения в обоих случаях наблюдается в ультрафиолете и в сантиметровых волнах.

Что касается интенсивного радиоизлучения, характерного для квазаров, то оно встречается у активных ядер галактик, даже у галактик типа Сейферта, сравнительно редко, хотя более слабое радиоизлучение, по-видимому, имеется у всех активных ядер.

Еще в 1965 г. американский астрофизик А. Сандедж вместе с сотрудниками опубликовал наблюдательные данные, свидетельствующие о существовании квазизвездных внегалактических объектов высокой светимости, отличающихся от квазаров лишь тем, что они не показывают интенсивного радиоизлучения.

А. Сандедж тогда выразил мнение, что подобных квазизвездных оптических источников примерно в пятьсот раз больше, чем квазаров. Анализ аргументов А. Сандеджа говорит о том, что, хотя такие, так сказать, оптические квазары существуют, он резко переоценил их численность. Обсуждение этого вопроса в Бюракане свидетельствовало скорее о том, что число

квазизвездных оптических объектов лишь в 50 раз превосходит число квазаров той же видимой яркости. Несколько месяцев назад было опубликовано новое исследование А. Сандеджа по этому вопросу. Оно убеждает в том, что первоначальная оценка А. Сандеджа была преувеличена в пять раз т. е., по грубому подсчету, оптических квазизвездных объектов примерно в 100 раз больше, чем квазаров.

По существу и те и другие можно объединить в один общий класс голубых квазизвездных объектов, небольшая часть которых испускает интенсивное радиоизлучение.

Таким образом, и по этому признаку устанавливается сходство между активными ядрами галактик и квазизвездными голубыми объектами.

Надо заметить, что при обсуждении в Бюракане опубликованного в 1968 г. нового списка квазизвездных голубых объектов Сандеджа было обнаружено, что один из них — В340 — является по существу голубой галактикой, ранее открытой Б. Е. Маркаряном. Поскольку это галактика, а не квазизвездный объект, он не должен был входить в список Сандеджа. Велико было наше удивление, когда мы нашли примечание Сандеджа к своему списку, в котором он отмечает, что объект, по-видимому, не является вполне точечным (звездообразным) и скорее представляет собой галактику.

Противоположного факта, когда квазизвездные объекты незаметно вошли в списки Маркаряна, не было обнаружено. Следует иметь в виду, что в обоих случаях речь идет о труднейших наблюдениях весьма слабых объектов, получение спектров которых находится на границе возможностей наших телескопов. Поэтому такое согласие результатов исследований, проведенных на совершенно разных инструментах, является обнадеживающим.

Что касается частоты встречаемости объектов различных типов на небе, то я приведу лишь две очень грубые оценки. Известно, что самый полный современный звездный атлас — Паломарский фотографический атлас неба, включающий изображения объектов до 21-й видимой фотографической величины. Можно считать, что этот атлас должен содержать до одного или двух миллионов голубых квазизвездных объектов, до одного миллиона галактик с ультрафиолетовым континуумом, среди которых не менее пятидесяти тысяч галактик Сейферта. Однако квазизвездные объекты могут наблюдаться на гораздо больших расстояниях, чем галактики с ультрафиолетовым континуумом. Поэтому мы их наблюдаем в гораздо большем объеме пространства. Если пересчитать те же численности на единичный объем пространства, то окажется, что галактики с ультрафиолетовым континуумом встречаются в десятки раз чаще, чем голубые квазизвездные объекты. Число же галактик с нормальными, неактивными ядрами в свою очередь на два порядка выше, чем число галактик с ультрафиолетовыми ядрами.

Таким образом вырисовывается следующая схема общей классификации внегалактических объектов по степени их компактности и по светимости ядер: галактики с нормальными ядрами без признаков значительной активности последних, галактики с активными (возбужденными ядрами), среди которых можно выделить галактики Сейферта как объекты с весьма активными ядрами, голубые квазизвездные объекты, в число которых входят и квазары. При этом в каждой из этих групп имеются объекты с более или менее интенсивным радиоизлучением.

Активность ядер галактик и квазаров, как указывалось, выражается в выделении огромных количеств энергии. Причем это выделение происходит часто в короткие сроки в виде взрывов, выбрасывания огромных сгустков и облаков газов, массы которых в миллионы раз превосходят

массу Солнца, в виде возбуждения эмиссионных линий и ультрафиолетового континуума в окружающем ядро газе.

Понятно, что с момента обнаружения этих явлений встал вопрос об их причинах, об источниках огромных количеств энергии и вещества, освобождающихся в результате активности ядра. Было обращено внимание на то, что все рассматриваемые активные процессы в ядрах связаны с рассеянием выделенной в небольшом объеме энергии, с рассеянием вещества, с 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, об образовании плотных тел из разреженных газовых масс. Для сторонников таких классических взглядов поток новых фактов, относящихся к активности ядер галактик, так же, как свидетельства в пользу того, что эта активность играет существенную роль в эволюции каждой галактики в целом, являлся большой неожиданностью и даже неприятностью, ибо говорил о развитии в противоположном направлении. Именно поэтому на первом этапе изучения этих явлений, т. е. до начала 60-х годов, большинство сторонников данного направления пыталось отрицать или по крайней мере игнорировать факты, относящиеся к активности ядер галактик.

Но еще в 1958 г., когда мне пришлось впервые выступить на Сольвейской конференции³ 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 объяснения повсеместно наблюдаемых явлений расширения и выбросов первоначальным катастрофическим сжатием, эта гипотеза, получившая название гипотезы коллапса, несколько лет оживленно 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 еще по другой причине. Дело в том, что ей противоречат факты, относящиеся к повторяемости взрывов. Несомненно, имели место по меньшей мере три последовательных взрыва в радиогалактике Центавр А, сопровождавшихся каждый раз выбросом пары радиоизлучающих облаков. По мнению английского астронома М. Райля существуют аналогичные свидетельства в пользу последовательных вспышек также и в других радиогалактиках. Этой гипотезе противоречат, в частности, и явления выбросов относительно плотных газовых сгустков — голубых галактик, а в особенности случаи, когда последовательно выбрасывалось несколько сгустков (галактика IC1182).

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

Другая гипотеза исходит из представления, что ядро галактики на более раннем этапе развития являлось некоторой автономной звездной системой (состоявшей из сотен миллионов звезд), помещенной в центре

³ Эти конференции созываются раз в три года в Брюсселе, и каждая из них посвящается определенному разделу физических наук.

галактики. Согласно законам динамики звездных систем такое большое звездное скопление должно было с течением времени терять свои члены и сокращаться в размерах. При достижении относительно малых размеров ядра (1 парсек в диаметре или меньше) должны были стать весьма частыми прямые физические столкновения между звездами при их движении. Вне ядра в окружающей галактике такие столкновения настолько редки, что ими совершенно пренебрегают. Частые столкновения между звездами должны вести к ряду необычных явлений и, в частности, к обнажению недр звезд, возникновению общей газовой оболочки из ободраных поверхностных слоев отдельных звезд, звездным взрывам и т. д. По мнению ряда авторов, при разработке такой гипотезы можно объяснить многие необычные явления, наблюдаемые в ядрах. Очевидно, эта гипотеза представляет собой более усовершенствованный вариант гипотезы коллапса. Нам кажется, что она заслуживает серьезного обсуждения, однако и она наталкивается на некоторые трудности, главным образом в связи с необходимостью объяснения повторных взрывов и повторных направлений выбросов газовых сгустков.

Третья гипотеза, возникшая в Бюраканской обсерватории одновременно с зарождением самых первых представлений об активности ядер галактик, заключается в том, что выбрасываемая при взрывах материя была с самого начала в ядре и являлась частью некоего сверхмассивного гипотетического тела, составляющего сердцевину ядра. Согласно данной гипотезе ядро тем и отличается от других компактных звездных групп, например звездных скоплений, что оно содержит такое очень массивное и довольно плотное тело. Активность ядра — результат деятельности этого сверхмассивного тела. Масса тела может быть равна сотням миллионов или даже миллиардам масс Солнца. Поскольку предполагается, что такое тело может существовать в ядре длительное время, то повторяемость выбросов как радиоизлучающих облаков, так и газовых сгустков в виде небольших голубых галактик может таким образом найти естественное объяснение.

Сейчас делаются только первые попытки построения модели и теоретического изучения свойств такого сверхмассивного тела. Среди теоретических работ в этом направлении следует отметить исследования Л. М. Озерного (Физический институт им. П. Н. Лебедева АН СССР).

Эта гипотеза претендует на более широкое применение, предполагая, что само существование галактики вокруг ядра есть опять-таки результат активности сверхмассивного тела. **Не ядро образовалось в уже существовавшей галактике, а галактика возникла вследствие 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 спиральных галактик выходят из ядра галактики, полностью гармонирует с такой картиной. А возможность фрагментации ядра, и особенно последовательной фрагментации сверхмассивного тела, открывает перспективу объяснения кратных галактик и существования скоплений галактик. Многие характерные свойства скоплений галактик, и в первую очередь положительная энергия ряда скоплений, становятся вполне понятными на этой основе. Исторически дело происходило так, что именно данные о скоплениях галактик позволили нам развивать указанные представления, а факты, явившиеся основой для представлений об активности ядер и ставшие известными позже, только подтверждали их. Открытие квазаров, которые могут рассматриваться как изолированные ядра в их первоначальном состоянии, было как бы последним мазком, завершающим всю картину.

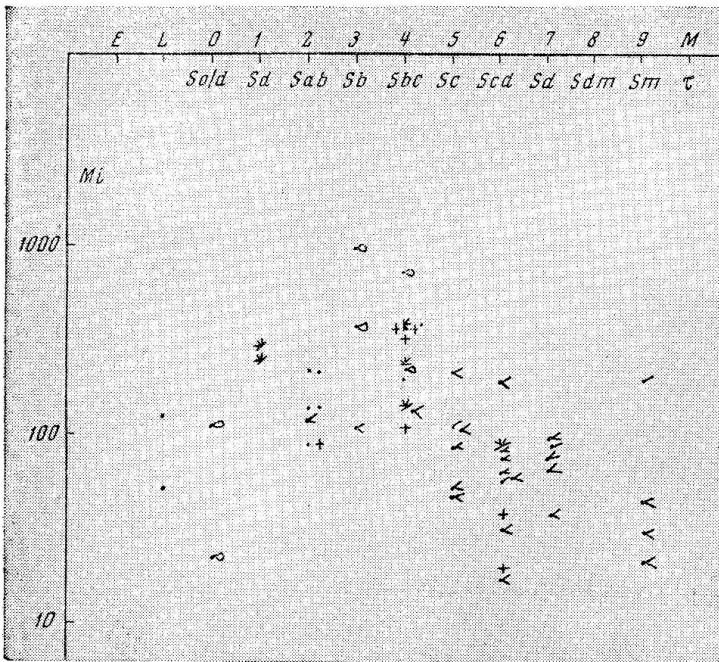


Рис. 12. Зависимость типа ядра от массы и морфологического типа Галактики (различные символы означают разные типы ядра)

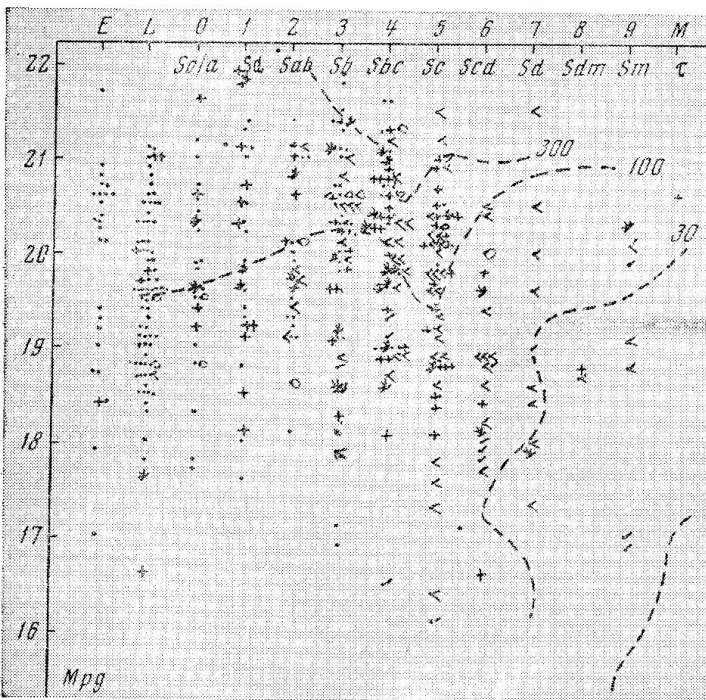


Рис. 13. Типы ядер для галактик, имеющих разные массы и морфологический тип (различные символы означают разные типы ядер галактик)

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 некоторые новые идеи и улучшения. Но она позволила объединить огромное число фактов, предвидеть многие новые факты, а главное указала на предвзятость существовавших представлений о конденсации галактик из межгалактического диффузного вещества.

Если принять эти представления, то мы должны сделать вывод, что ядро галактики, теряя на протяжении своей жизни огромные массы вещества, претерпевая взрывы и даже иногда фрагментацию, должно с течением времени сильно меняться. Нет ничего неестественного в предположении, что на каком-то этапе первоначальное ядро совершенно исчезает. И действительно, некоторые галактики вовсе лишены ядер. Правда, в одних случаях можно думать, что ядро невидимо вследствие отдаленности галактики. Но в других случаях, например у спутников нашей Галактики — Магеллановых Облаков, т. е. у очень близких к нам галактик, отсутствие ядер можно считать установленным фактом.

При современном развитии наблюдательных средств астрономии трудно производить строго количественное изучение состояния ядер галактик. По-

этому в Бюракане была разработана предварительная грубая пятибалльная классификация ядерных областей галактик. Оценка 5 соответствует случаю наличия четкого звездообразного ядра, резко выделяющегося на фоне галактики. Оценка 1 является другим крайним случаем, когда нет ядра и даже его косвенных признаков. Баллы 2, 3 и 4 соответствуют промежуточным случаям.

Как зависят эти оценки от таких характеристик галактик, как интегральная масса и удельный вращательный момент? На этот вопрос проливают некоторый свет две диаграммы, составленные на основе исследования центральных областей более пятисот галактик, выполненного С. Искударян, А. Каллогляном, К. Саакян и Г. Товмасыном.

Если рассматривать первую диаграмму (рис. 12), в которую включено лишь небольшое число галактик с известными массами, можно лишь угадать, что балл ядра не определяется однозначно заданием массы и морфологического типа (в известной степени зависящего от удельного момента вращения). Из второй диаграммы (рис. 13), где по ординатам отложены не массы, но определяемые ими в первом приближении светимости, этот вывод становится совершенно ясным.

Итак наблюдения показывают, что характер ядра и устройство околоядерной области не обуславливаются такими более или менее неизменными во времени характеристиками галактик, как масса и вращательный момент. Между тем, казалось бы, именно последние два параметра и должны в основном определять все другие постоянные характеристики галактики. Эти данные находятся в прекрасном согласии с допущениями, что ядро испытывает огромные изменения во времени.

Нужно еще много работать, чтобы установить закономерности изменения состояния ядра, начиная от квазизвездного голубого объекта до полного исчезновения ядра.

*

В процессе 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. Сейчас мы уже обсуждаем величественные процессы, происходящие в ядрах галактик и квазарах.

Вселенная в новых представлениях астрономов — это быстро и глубоко изменяющийся окружающий нас мир с богатейшим разнообразием жизненных процессов в космических телах. Я сознательно употребил слова «жизненные процессы», чтобы подчеркнуть активность, сложность, своеобразие и вместе с тем автономность многих процессов развития, которые мы изучаем. Новые телескопы, которые создаются в настоящее время, позволят нам проникнуть еще глубже в самую суть этих процессов.