

## ОБ АКТИВНОСТИ ЯДЕР ГАЛАКТИК

В. А. АМБАРЦУМЯН

Бюраканская астрофизическая обсерватория,  
Армения, СССР

До последнего времени астрономы обращали относительно мало внимания на ядра галактик. Это, по-видимому, было вызвано двумя причинами. С одной стороны их трудно изучать, так как мы их наблюдаем на ярком фоне центрального сгущения соответствующей галактики. Иногда они совершенно теряются на этом фоне, и о них вовсе нельзя получить никакой информации. С другой стороны, роль ядер в жизни соответствующих галактик недооценивалась. Ничего не было известно об активности ядер.

В настоящее время положение дел изменилось. Ядра галактик привлекают всеобщее внимание. Причину многих явлений в галактиках мы теперь видим в активности ядер. В докладе на съезде МАС в Беркли мы позволили себе назвать эту активность «космогонической». Дело в том, что благодаря активности ядра в окружающей галактике появляются новообразования. За прошедшие после Беркли пять лет стали известны новые факты, подтверждающие космогонический характер указанной активности. Однако для краткости удобнее говорить просто об «активности» ядер.

§ 1. Уже давно известно, что некоторые из ближайших к нам галактик (члены Местной группы) имеют небольшие по размерам центральные ядра. Радиусы их измеряются всего несколькими парсек. Из них самой высокой фотографической светимостью ( $M = -12$ ) обладает ядро М 32.

Вне Местной группы наряду с такими ядрами встречаются ядра гораздо более высокой светимости. Иногда и радиусы ядер бывают большими, доходя до сотен парсек. Очевидно, что ядра низкой светимости, такие, как у М 31, NGC 205, было бы трудно и даже практически невозможно обнаружить на расстояниях, превышающих 10 мегапарсек.

§ 2. Вместе с тем, известны галактики, у которых, несмотря на весьма благоприятные условия наблюдений, ядра не наблюдаются. К числу таких галактик принадлежат Большое и Малое Магеллановы облака, системы в Печи и Скульпторе.

Для того, чтобы можно было решить на основе наблюдений, имеет ли данная галактика ядро, желательно иметь какое-либо *рабочее определение ядра* галактики, тем более, что различные авторы приписывают слову «ядро» различный смысл.

§ 3. Очевидно, что определение ядра должно быть выбрано так, чтобы оно охватывало приведенные примеры.

Можно условиться считать, что галактика имеет ядро, если выполняется одно из следующих условий:

а) на фоне неразрешимой на звезды центральной части галактики наблюдается звездообразный объект;

б) если центральная часть разрешается на звезды, то имеется звездообразный объект, значительно превосходящий по светимости (скажем, не менее, чем на три величины) наиболее яркие из звезд;

в) в центральной части галактики имеется протяженный объект высокой поверхностной яркости с большим значением градиента на его границе.

$$-\frac{d \log I}{d \log r} .$$

Если не выполняется ни одно из этих условий, это еще не означает, что у галактики нет ядра. В таком случае мы можем лишь констатировать, что мы его не наблюдаем.

§ 4. К сожалению, мы лишены сколько-нибудь подробной информации о геометрической структуре ядер, поскольку единственное ядро, которое имеет достаточный для подробного изучения угловой диаметр, — ядро нашей Галактики — закрыто от нас поглощающими облаками. Можно, однако, надеяться, что в ближайшие годы мы будем иметь возможность определить распределение оптической яркости по диску нескольких протяженных ядер, таких, как у NGC 1068, NGC 3504 и аналогичные.

Точно так же интересные данные следует ожидать от наблюдений ядра нашей Галактики на сантиметровых волнах при высоком угловом разрешении.

Если же исключить эти надежды, то можно сказать, что в отношении ядер галактик мы находимся в таком же положении, как в отношении звезд, т. е. мы должны рассматривать их как точечные объекты.

А это означает, что изучение ядер галактик должно основываться главным образом на определении их интегральных характеристик: интегральных звездных величин, интегральных спектров, цветов, радиовеличин, диаметров и т. д.

С другой стороны, огромное косвенное значение для познания природы ядер галактик имеет исследование результатов их активности. Например, мы не можем прямо наблюдать ядро галактики М 82 на фоне ее

центральной части. Но известные нам два факта: происшедший там взрыв, сопровождавшийся выбрасыванием больших масс газа, и наличие интенсивного радиоизлучения от небольшой области вокруг центра не только свидетельствуют о существовании ядра у этой галактики, но и говорят о наличии у этого ядра определенных свойств.

Поскольку изучение интегральных характеристик звезд оказалось весьма плодотворным для выяснения их истинной природы, можно думать, что исследование интегральных параметров, характеризующих ядра галактик и их активность, позволит решить вопросы, касающиеся природы ядер.

§ 5. Наблюдения показывают, что у различных галактик светимость ядер составляет различную долю интегральной светимости галактики: от менее чем одной тысячной у М 31 до десятков процентов у некоторых галактик Сейферта.

Наконец, имеются случаи, когда мы наблюдаем *изолированное* ядро без окружающей его структуры. По крайней мере, некоторые из компактных галактик Цвикки являются подобными изолированными ядрами. Мы можем считать, что в этих случаях вся (или почти вся) светимость галактики обусловлена ее ядром.

§ 6. Абсолютные фотографические величины ядер занимают огромный диапазон от  $-5$  до  $-18$ . В отдельных случаях ядра могут иметь еще более высокую светимость.

§ 7. Спектральные наблюдения показывают, что в состав ядер, как правило, входит звездное население, а часто и небольшие количества диффузного вещества. В большинстве случаев цвет В—V мало отличается от среднего цвета звездного населения центральных частей той же галактики. Поэтому имеются некоторые основания считать, что в лучах В и V большая часть излучения ядра обусловлена обычным звездным населением. Иначе обстоит дело с ультрафиолетовым излучением.

В ядрах обычно присутствует также некоторое количество диффузного вещества. Однако ни звезды, ни диффузное вещество не могут быть, по-видимому, ответственны за те формы активности ядер, которые связаны с огромным энерговыделением ( $10^{57}$ — $10^{60}$  эрг) за короткие промежутки времени, или за выброс очень больших масс вещества. Поэтому, как возможное решение вопроса, следует допустить существование в некоторых ядрах весьма массивных тел незвездной природы, ответственных за многие формы их активности.

§ 8. Следует отметить, что благодаря своему центральному положению ядро динамически автономно по отношению к остальной системе. Поэтому с чисто механической точки зрения эволюция ядра может изучаться независимо от механического состояния окружающей звездной системы.

Относительно высокая звездная плотность ядер (превосходящая  $10^4$  звезд на кубический парсек) наводит на мысль о том, что на определенном этапе развития в нем могут нарушаться некоторые свойства, характерные для системы гравитирующих точечных масс (к числу этих характерных свойств относится то, что длина свободного пробега во много раз больше диаметра системы, и то, что радиационным взаимодействием звезд можно пренебречь).

Нетрудно, однако, видеть, что такие нарушения свойств «идеальных звездных систем» приобретут существенное значение тогда, когда поверхностная яркость ядра станет приближаться к поверхностной яркости звезд. Это соответствует плотностям порядка  $10^{11}$ — $10^{12}$  звезд на кубический парсек.

При известных нам массах ядер (до  $10^{10}$  масс Солнца) столь высокая плотность может быть достигнута, если ядро или значительная часть его массы сосредоточится внутри объема, меньшего, чем один кубический парсек. Столь высокая плотность не соответствует имеющимся данным о средних плотностях ядер. Но наличие у ядер подобных центральных сгущений придало бы им много необычных свойств и может быть позволило бы объяснить некоторые формы их активности.

Существование в ядрах сверхмассивных тел, способных претерпевать время от времени взрывы с большим выделением вещества и энергии, также должно обусловить крайнее своеобразие динамики и внутреннего строения ядра. Поэтому и с чисто динамической точки зрения ядра должны быть далеко нетривиальными системами.

§ 9. Различные формы активности ядер были рассмотрены в докладе автора на Сольвейской конференции 1958 года [1].

Обзорная статья Бэрбидж, Бэрбиджа и Сандейджа [2] содержит много новых фактов, особенно относящихся к эруптивным формам активности. Поэтому мы здесь ограничимся простым перечислением различных форм активности, тем более, что в течение всего этого симпозиума мы будем рассматривать и сопоставлять различные данные, относящиеся к этому явлению.

Автор придерживается того взгляда, что активность ядра является основным фактором, определяющим формирование каждой галактики. С этой точки зрения и спиральные рукава, и население сферической составляющей (гало) каждой галактики возникли у галактик в результате активности центрального плотного ядра как следствие разного рода выбросов и истечений. Но постановка этих вопросов во всей их широте привела бы к необходимости рассмотреть всю проблему происхождения галактик и скоплений галактик, что выходит далеко за пределы задач настоящего симпозиума. Поэтому в данный момент целесообразно исключить из рассмотрения различные возможные *предположительные* формы

активности, и говорить только о тех формах, на существование которых более или менее прямо указывают наблюдения.

§ 10. Это прежде всего те формы активности, которые связаны с относительно большим выделением энергии.

Таковыми формами активности, в частности, являются:

- а) радиовспышки (приводящие к превращению галактики на некоторое время в радиогалактику);
- б) взрывы, сопровождаемые выбросом протяженных газовых облаков с массой порядка миллионов солнечных масс (M 82);
- в) непрерывное истечение вещества;
- г) выбросы струй и компактных голубых галактик (IC 1182 и другие).

§ 11. Во много раз меньшее количество энергии выделяется в связи со способностью ядер значительного числа спиралей и пересеченных спиралей длительное время поддерживать вокруг себя существование радиоизлучающего облака диаметром в несколько сот парсек.

Примером такого облака может служить протяженное образование вокруг центра нашей Галактики, которое испускает длинноволновое радиоизлучение. Во многих других спиральных и пересеченных спиральных также же центральные облака имеют гораздо более высокую радиосветимость (иногда в сотни раз большую, чем у нашей Галактики). Такие облака существуют, по-видимому, в течение сотен миллионов лет. Для этого, однако, необходимо, чтобы энергия облака непрерывно или дискретными порциями в течение длительного времени пополнялась за счет энергии ядра.

§ 12. Другой вид более спокойной активности связан с наличием интенсивного ультрафиолетового излучения в спектре околоядерных областей некоторых галактик. Факты, относящиеся к встречающемуся иногда несоответствию между морфологическим типом галактики и показателем цвета ядра, так же, как и прямые наблюдения ультрафиолетовых частей спектров у некоторых ядер, свидетельствуют об испускании ядрами излучения, нехарактерного для их звездного населения. Вероятно, это излучение возникает не только в самом ядре, но и в окружающей его области. Возможно, что оно имеет незвездное и нетепловое происхождение. При этом мы не имеем в виду так называемые «горячие пятна» в околоядерных областях, которые могут состоять из горячих звезд и эмиссионных туманностей. Для поддержания этого аномального ультрафиолетового излучения также требуется постоянный приток энергии из ядра в окружающее пространство.

§ 13. Если еще несколько лет тому назад данные об активности ядер были настолько скудны, что многие сомневались в самом существовании

этой активности, то теперь, когда астрономы приступили уже к подробному изучению этого вопроса, стало ясно, что мы имеем дело с весьма сложным комплексом явлений, не находящих простого объяснения. Прежде чем пытаться найти теоретическое объяснение, следует дать классификацию как самих ядер и их состояний, так и различных форм их активности. К сожалению, это очень трудное дело.

Может быть, различные формы активности следует отличать друг от друга по степени их продолжительности.

Тогда следовало бы отличать:

а) явления взрывного характера, куда войдут пункты а), б) и г) из § 10.

б) формы активности промежуточной продолжительности. Сюда следует прежде всего отнести формы активности, которые проявляются ядрами галактик Сейферта. В период этой активности в ядре происходит выбрасывание газовых облаков, имеющих значительные массы (порядка тысяч масс Солнца) и движущихся со скоростями более тысячи километров в секунду;

в) медленные процессы истечения вещества из ядра. К числу медленных проявлений активности следовало бы отнести наличие аномальных излучений из ядра и окружающей его области.

§ 14. Следующей задачей должны быть поиски зависимости форм активности ядер от тех или иных внешних параметров, их характеризующих. Однако мы пока можем сказать очень мало о значениях этих параметров для конкретных галактик. Поэтому настоятельно необходимо наличие более богатых наблюдательных данных. Исследование ядер надо вести параллельно с исследованием центральных (околоядерных) областей в целом. В частности важны исследования центральных частей в том духе, в каком это производится Воронцовым-Вельяминовым.

Нам кажется, что прежде всего следует выяснить, у каких галактик какого-либо каталога (напр., Шэпли и Эймс) мы сможем выделить ядра и определять, скажем, их светимости. Ясно, что мы можем это сделать наиболее успешно для тех галактик, которые имеют ядра относительно высокой светимости. На самом деле возможность изучения ядер зависит и от яркости окружающего фона. Для того, чтобы получить первую ориентировку в этом вопросе, мы приступили в Бюраканской обсерватории к классификации галактик по степени четкости выделения ядер в их фотографических изображениях. Это делается посредством оценки в пятибалльной шкале, причем балл 5 приписывается тем галактикам, у которых имеется на наших снимках совершенно четкое звездообразное ядро; балл 3 означает, что хотя само ядро незаметно, но быстрое увеличение яркости к центру галактики свидетельствует о его присутствии. Балл 1 означает, что в галактике нет бросающегося в глаза центрального сгущения. Баллы 2 и 4 соответствуют промежуточным случаям. За-

метим, что это еще не есть настоящая классификация ядер. Это скорее грубая классификация ситуаций, наблюдаемых в центральных частях галактик.

К настоящему времени такие оценки произведены в Бюракане для нескольких сот галактик.

§ 15. Встает вопрос, в какой степени подобные оценки независимы от масштаба снимка. Предварительные результаты произведенных сравнений дают основание считать, что увеличение масштаба, как правило, не ведет к уменьшению балла, с той оговоркой, что, например, ядро, имеющее оценку 5, на снимке большого масштаба может оказаться уже не точечным и таким резким, как на снимке малого масштаба.

Поэтому представляется достаточно обоснованным фотометрирование ядер галактик в случае баллов 4 и 5 как звездообразных объектов.

В случае же баллов 1—3 мы можем давать с данным инструментом лишь верхнюю границу светимости ядра, оставляя открытой возможность наблюдения ядра с инструментами длиннофокусными.

§ 16. Полученные результаты в части пересеченных спиралей уже частично опубликованы Каллогляном и Товмасыном [3, 4]. Результаты некоторых других серий измерений будут доложены здесь в течение симпозиума нашими сотрудниками.

Имеющийся материал пока не дает оснований для широких сравнений и выводов. Подробности вы узнаете из дальнейших докладов, но мне здесь хотелось бы упомянуть о том, что распределение галактик по введенным выше баллам (оценкам) различно для различных морфологических типов. Это позволяет надеяться установить связь характеристик ядер с типом галактики.

С другой стороны, по-видимому, взрывы, сопровождающиеся большим энерговыделением, происходят в галактиках, где светимость ядер невелика.

Наоборот, более медленные формы активности ассоциируются с более яркими ядрами.

§ 17. Конечно, нас очень интересует вопрос о том, как меняются интегральные параметры, характеризующие ядро, при том или ином взрывном процессе или в процессе эволюции.

Только длительное и глубокое изучение ядер позволит ответить в будущем на этот вопрос.

Можно спросить, не происходят ли большие взрывы в результате таких процессов, когда состояние системы меняется радикально или система исчезает совсем. В этих случаях, а также в случае коллапсов, как их описывают теоретики, мы не должны иметь повторения аналогичных друг другу взрывных явлений.

Между тем, такое повторение встречается. Примером может служить радиогалактика Центавр А.

§ 18. Поскольку другим видам активности ядер будет посвящено в много сообщений, я хотел бы остановиться здесь на выбросах струй и сгустков из ядер галактик.

Первым примером галактики со струей, включающей в себя сгустки, послужила радиогалактика NGC 4486. Тот факт, что струя выходит из ядра, дал основание говорить о выбросе струй из центрального ядра. Вторым интересным примером явилась относительно мощная струя с одним сгустком из галактики, фотография которой была приведена Цвикки в его статье в *Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften*. Эту галактику мы отождествили с NGC 5361. В новом каталоге де Вокулёра этот объект имеет номер А 1108. Радиальная скорость, определенная Цвикки, не оставляет сомнения в том, что сгусток (А 1108 С) не является случайной проекцией. Он является небольшой галактикой с отрицательным показателем цвета и имеет абсолютную величину —16.

В дальнейшем оказалось, что и струя, выходящая из IC 1182, находящейся в скоплении Геркулеса, также содержит голубые сгустки, причем абсолютная величина одного из них порядка —17.

Однако имеются случаи, когда голубые галактики встречаются вблизи гигантских галактик, не будучи связаны струями с их ядрами.

В свое время ряд таких голубых объектов был найден здесь, в Бюракане. Из них я хотел бы отметить очень голубой объект в непосредственном соседстве с галактикой Гидра А и два голубых объекта около одной D-галактики, которые обнаружены два года тому назад Саакян. Интересно, что во всех этих случаях голубой объект находится в соседстве с галактикой типа D.

Этот вид голубых объектов отличается от голубых галактик Аро малыми размерами и относительно высокой поверхностной яркостью. Поэтому можно принять предложение Цвикки считать их компактными голубыми галактиками.

Эта группа фактов заслуживает особого внимания, так как указывает на возможность весьма интересных процессов выброса относительно плотных масс или может быть даже объектов, которые в дальнейшем взрываются, по пути превращаясь в голубые галактики.

Конечно, необходимо учесть, что и эти объекты могут иметь разную природу. Как показал Цвикки, в спектре голубого сгустка А 1108 С доминирует излучение в линии  $\lambda$  3727. С другой стороны, совсем не так обстоит дело в случае голубого объекта около Гидра А, как это следует из спектральных снимков Маркаряна.

Следует особо отметить явления нестационарности, наблюдаемые и в других голубых галактиках. Оставаясь в сфере объектов аморфного вида (без спиральных рукавов), я хотел бы упомянуть об очень интерес-



ных спектральных наблюдениях весьма компактной радиогалактики 0521—36 каталога Болтона и других, произведенных Вестерлундом и Стоксом в Австралии. Эта галактика, имея абсолютную величину в системе В, равную  $-21.5$ , в то же время по диаметру не превосходит  $5000$  парсек (мною данные пересчитаны на постоянную Хаббла, равную  $75$  км/сек на *мегапарсек*). Галактика имеет большой ультрафиолетовый эксцесс ( $U-V = -0.30$ ). Ширина эмиссионных линий свидетельствует о движениях газа со скоростями порядка  $1000$  км/сек. Таким образом, этот объект высокой светимости показывает много признаков, характерных для нестационарных галактик. Очевидно, что объект, исследованный Вестерлундом и Стоксом, является во многих отношениях переходным к квазарам. Существенная разница, однако, заключается в том, что он, очевидно, входит в скопление галактик, правда, значительно более слабых, чем он сам.

§ 19. В заключение я хочу поставить вопрос, который имеет фундаментальное значение для понимания эволюции галактик и развития нестационарных процессов в них.

Целый ряд явлений мы объясняем, предполагая, что взрыв происходит в самом ядре галактики. Особенно это относится к радиовспышкам. С другой стороны, некоторые наблюдатели обратили внимание на наличие в ряде галактик образований, которые можно рассматривать как результат эксцентричного взрыва. При этом я говорю не о явлениях масштаба звездных ассоциаций, а о явлениях гораздо более крупного масштаба, когда много групп звезд располагается в виде кольца вокруг некоторого центра. Такого типа образования существуют, например, в Большом Магеллановом Облаке.

Интересно наличие такого образования в южной галактике NGC 3955, о которой будет сказано в сообщении Товмасына. Интересно, что эта галактика (согласно каталогу де Вокулёра) принадлежит к тому же морфологическому типу, что и M 82.

Поскольку вне ядра мы обычно не имеем источников, способных к быстрому освобождению очень больших количеств энергии, возникает мысль о возможности случаев, когда энергия взрыва выносится из ядра каким-то носителем, а затем ее освобождение происходит на некотором расстоянии от ядра. Гипотеза о возможности подобных процессов позволила бы объяснить огромный класс явлений, но я бы предупредил против возможной тенденции применять ее во всех случаях, когда мы имеем дело с различного рода структурами на перифериях галактик.

§ 20. Вместе с тем, следует отметить, что затронутый вопрос имеет тесную связь с проблемой возникновения групп галактик в плане тех проблем, которые обсуждались на конференции в Санта-Барбара (нестационарность скоплений галактик).

2\*

В частности, предположение о возможности выброса из ядер таких компактных голубых галактик, о которых речь шла выше, заставляет нас не забывать, что многие проблемы физики галактик связаны с вопросами эволюции скоплений галактик.

§ 21. Вопрос о механизме активности ядер галактик тесно связан с вопросом о природе квазизвездных объектов. Как уже указывалось, имеются объекты, занимающие промежуточное положение между галактиками и квазизвездными объектами. Однако обсуждение вопросов, связанных с квазизвездными объектами, выходит за пределы настоящего доклада.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Амбарцумян, Solvay Conference Report, 1958.
2. E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, A. R. Sandage, Rev. Modern Phys. 35, 947, 1963.
3. А. Т. Каллоглян, Г. М. Товмасын, Сообщения Бюраканской обсерватории, 36, 31, 1964.
4. Г. М. Товмасын, Астрофизика, 1, 197, 1965.

#### ДИСКУССИЯ

*Я. Б. Зельдович:* В работе моей и Подурца рассматривается крайне идеализированная задача эволюции системы точечных масс. Система звезд нормального размера за счет физических столкновений эволюционирует гораздо быстрее и при меньшей плотности, по сравнению с эволюцией точечных масс за счет гравитационного взаимодействия.

*(В. А. Амбарцумяну):* Каких свойств массивных тел требуют наблюдательные данные? Сохраняются ли масса, энергия, момент вращения? Как известно, предположение об образовании вращающейся галактики из компактного массивного тела связано с трудностями именно в связи с моментом вращения.

*В. А. Амбарцумян:* Массы ядер, определяемые по моменту вращения, оказываются порядка  $10^6 - 10^{10} M_{\odot}$ . Наблюдений более массивных ядер не имеется. Однако данные очень скудны.

Конечно, имеются трудности, связанные с моментом вращения. В этой связи интересно, что явления струй и выбросов, о которых говорилось выше, связаны главным образом с галактиками, которые не характеризуются быстрым вращением.