

О ЯДРАХ ГАЛАКТИК И ИХ АКТИВНОСТИ

ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Настоящий доклад является моим вторым сообщением на Сольвейских конференциях. Первый доклад об эволюции галактик был прочитан на Сольвейской конференции 1953 года. Он касался главным образом эруптивной активности ядер галактик, выброса больших масс из этих ядер и других процессов, связанных с быстрым освобождением больших количеств энергии в ядрах. В настоящем сообщении я хотел бы еще раз подробно остановиться на той же теме—активности ядер.

Нужно заметить, что положение докладчика по такой теме в 1958 году было гораздо труднее, чем сейчас. В то время нужно было доказывать в противоположность существовавшему общепринятому мнению, что радиогалактики являются не результатом столкновения пар галактик, а представляют звездные системы, в ядрах которых имели место гигантские взрывы, приведшие к образованию больших облаков релятивистских электронов. Полагаясь на некоторое число косвенных свидетельств, я тогда должен был показывать, что из галактик иногда могут выбрасываться огромные массы *обычного вещества**. Теперь, когда опубликована прекрасная работа Саудейджа и Линдса относительно галактики M 82, я думаю, что уже нет места для сомнений на этот счет.

С другой стороны, доступная теперь информация о галактиках различных морфологических и физических типов гораздо богаче. Это прокладывает путь к вскрытию природы этих основных образований Вселенной.

Как и в 1958 году, я снова попытаюсь начать не с предвзятых мнений, а основываясь на наблюдательных данных. Предвзятые мнения часто препятствуют достижению правильных выводов, даже если последние определенным образом подтверждаются наблюдениями. Мне кажется, что такие предубеждения все еще существуют. По-моему, любая недооценка роли, которую играют ядра в эволюции галактик, дает пример такой предвзятой концепции. В упомянутом выше сольвейском докладе, так же, как и на нашей лекции по приглашению в Беркли в 1961 году, было представлено достаточное количество данных, свидетельствующих об активной и, возможно, даже основной роли ядер в эволюции галактик. Не обращая внимания на эти факты, некоторые исследователи все еще пытаются объяснить необычные явления, которые мы наблюдаем в ядрах, в рамках представления о быстрой или медленной концентрации к ядру окружающей материи. От-

On the Nuclei of Galaxies and their Activity. Доклад на XIII Сольвейской конференции в Брюсселе в сентябре 1964 г. Опубликован в трудах конференции: *The Structure and Evolution of Galaxies*, Interscience Publishers, London—New York—Sydney, 1965, p. 1.

* В напечатанном английском тексте имеется опечатка: «под «обычным веществом» Амбарцумян понимает «нерелятивистскую плазму».

сюда идея коллапса как причины наблюдаемых взрывов. Я думаю, что чем раньше мы откажемся от этой идеи, тем скорее придем к правильным объяснениям. Действительно, кажется странным следующее положение.

Новые наблюдения все больше и больше указывают на истечение материи из центра, на взрывы, струи и выбросы, тогда как в то же самое время некоторые теоретики все больше и больше говорят в пользу конденсации, падения материи к центру и коллапсов. При этом не приводятся какие-либо убедительные факты в поддержку гипотезы конденсации больших масс окружающей материи к ядру галактики.

В противоположность этому проблема воздействия наблюдаемых крупномасштабных взрывов и выбросов из ядра на жизнь окружающей галактики пока не заслужила нужного внимания теоретиков.

Поэтому нам кажется, что астроном, привыкший изучать и анализировать *факты*, должен сосредоточивать внимание главным образом на следующих двух проблемах:

- 1) изучение природы ядер и протекающих в них процессов;
- 2) влияние этих процессов на эволюцию галактики в целом.

Что касается теоретического объяснения необычных процессов, происходящих в ядрах, то мы должны пройти через обычные две стадии. Первая стадия—правильная интерпретация наблюдений. Когда наблюдательные данные скудны, то существенно, прежде всего, составить ясное представление о том, что происходит и в чем физическая природа наблюдаемого явления. Затем наступает вторая стадия. Составив общее представление о том, что происходит, мы пытаемся выяснить причину явления и объяснить его происхождение. В астрофизике за решением первой проблемы в большинстве случаев скоро следует удачное решение второй проблемы. Но часто для того, чтобы как следует решить вторую проблему, требуется значительное время.

К сожалению, иногда замечается тенденция перескочить через первую стадию. В частности, такая поспешность замечается в проблеме взрывных процессов в ядрах галактик. Хотя причина для такой поспешности вполне понятна, я тем не менее думаю, что в настоящее время мы должны обратить внимание в основном на первую стадию. В этом сообщении мы ограничим себя первой стадией, оставляя объяснение наблюдаемых явлений на будущее.

ФОРМЫ АКТИВНОСТИ ЯДЕР

Наблюдения показывают, что ядра галактик не являются изолированными системами. В дополнение к излучению они также испускают обычную материю в окружающее пространство. Этот процесс может протекать различным образом. Поэтому имеется основание говорить о различных формах или типах активности ядер. Наблюдаемые формы активности, включая и те, которые могут считаться спорными, приводятся ниже. Мы приходим к заключению о существовании этих типов на основе интерпретации наблюдений, хотя эта интерпретация часто не является однозначной.

а) Спокойное истечение обычной газовой материи из области ядра со скоростью десятков или сотен километров в секунду. Лучшей иллюстрацией такого истечения служит явление, наблюдаемое в М 31 в спектральной линии λ 3727. Такое же истечение имеет место в нашей собственной Галактике и в Малом Магеллановом Облаке.

б) Непрерывное испускание потока релятивистских частиц или других агентов, производящих электроны высоких энергий. В результате этого образуется радиогало вокруг ядра на метровых и децимет-

ровых волнах. Такое явление наблюдается вокруг ядра нашей Галактики. Согласно Метьюсону и Роуму, радиочастотное излучение в Sb-галактиках в дециметровой области концентрируется в области вокруг ядра, а диаметр радиоизображения в несколько раз меньше диаметра оптического изображения галактики (NGC 253, 4945, 5236, а также Sb-галактика NGC 1068).

в) Эруптивные выбросы газовой материи. Примером таких явлений служит M 82. Другим возможным примером является NGC 2685. Такие явления, по всей вероятности, имеют место также и в радиогалактике NGC 1275, где наблюдается газовое облако, движущееся со скоростью 3000 км/сек относительно центра галактики.

г) Эруптивные выбросы концентраций релятивистской плазмы. Примеры: NGC 4486, NGC 5128 и многие другие радиогалактики.

д) Выбросы несколько более плотных голубых сгущений, имеющих абсолютные величины в интервале ст $-14^m.0$ до $-17^m.7$. Такие концентрации могут рассматриваться как недавно рожденные галактики. Примеры: NGC 3561 и IC 1182. Возможные случаи деления ядер на два или более сравнимых компонента с последующим образованием двойных или кратных галактик могут быть также отнесены к таким явлениям.

е) Истечение вещества, из которого впоследствии образуются спиральные рукава (гипотетическая форма активности).

ж) Выброс вещества перемычек в SB-галактиках (гипотетическая форма активности).

з) Выброс вещества, из которого образуется звездное население сферических подсистем (гипотетическая форма).

Вполне возможно, что некоторые из этих процессов совпадают друг с другом, представляя различные стороны того же самого активного процесса. Мы можем взять, например, радиогалактику Гидра А, в непосредственной окрестности которой наблюдается очень интересный голубой объект. Весьма вероятно, что выбросы радионизлучающего облака и голубого объекта имели место одновременно. Хотя эти явления взаимно связаны, возможно также, что они имели место в некоторой последовательности. Все эти формы активности могут дополняться взрывами, которые приводят к образованию квазизвездных источников типа 3C 273. Последние явления превосходят другие формы активности по масштабу. Такие взрывы могут, возможно, означать начало формирования новой галактики или даже целого скопления галактик.

О ПРИРОДЕ ЯДЕР

С точки зрения мощности ядер наблюдаемые галактики могут быть сгруппированы в пять классов:

1) Галактики без каких-либо заметных ядер и без какого-либо значительного сгущения в центре. Значительное сгущение в центре должно указывать на присутствие ядра, возможно очень слабого. Многие иррегулярные галактики относятся к этому классу. Эллиптические карликовые галактики типа Скульптора также должны быть включены в эту группу.

2) Галактики, имеющие спокойные ядра сравнительно низкой светимости. Этот класс может включать в себя галактики, у которых ядро более чем на четыре величины слабее интегральной светимости самой галактики. M 31, NGC 5194, M 33 и, возможно, наша Галактика входят в этот класс.

3) Галактики со спокойными ядрами высокой светимости, когда ядро слабее всей галактики на 1,5—4 величины. Спектры ядер в классах 2 и 3 являются непрерывными. Могут присутствовать эмиссионные линии λ 3727 и другие. Хотя эти линии могут иногда достигать значительной степени интенсивности, они не показывают ни заметного расширения, ни разделения на компоненты. Примеры: NGC 4303, NGC 3162.

4) Сейфертовские галактики с очень яркими ядрами, светимость которых составляет значительную часть светимости всей галактики. Имеется большое число эмиссионных линий. Они показывают либо расширение, либо расщепление, вызванные большой скоростью движения имеющихся в ядре газовых облаков.

5) Компактные галактики, в число которых могут войти и звездобразные радиогалактики, так же, как и многие другие компактные объекты, обнаруженные оптическими средствами (Цвикки). В этом случае мы можем считать, что светимость в целом концентрируется в ядре галактики.

Ядра класса 2 имеют малые размеры. Их диаметры порядка нескольких парсеков или нескольких десятков парсеков. В классах 3, 4 и 5 встречаются ядра больших размеров, диаметры которых могут измеряться сотнями парсеков. Например, ядро галактики типа SBb, NGC 3504 имеет диаметр порядка 100 пс, с некоторым возрастанием яркости к центру. Другие ядра показывают иногда более регулярное распределение энергии по диску. Однако эта запутанная проблема распределения яркости по диску ядер требует очень большой разрешающей силы телескопов и может рассматриваться как полностью неизученная.

Непрерывный спектр ядер галактик классов 2 и 3 указывает на то, что источником светимости является звездное население, которое отличается, но мало, от звездного населения центральных областей таких галактик, как M 31 и M 81. Однако в этих ядрах уже присутствует газовая составляющая. Данные относительно линии λ 3727 в области ядра M 31 указывают на сравнительно спокойное и непрерывное истечение материи из таких ядер. Хотя этот поток и небольшой, за большой промежуток времени может вытекать масса до $10^8 M_{\odot}$. Следовательно, возникает вопрос об источниках вытекающих газов.

В случае ядер сейфертовского типа (класс 4) мы можем уже утверждать, что в дополнение к звездной компоненте ядро содержит также и газовую компоненту, которая по крайней мере в определенных случаях, состоит из изолированных дискретных облаков, вылетающих из ядра со скоростями в тысячи километров в секунду. Такие большие скорости не оставляют места для сомнения в том, что дискретные газовые облака, о которых говорилось выше, зародились внутри ядер. Это неизменно ведет нас к заключению о том, что они были выброшены всего несколько десятков тысяч лет тому назад из более плотных тел. Это означает, что такие ядра содержат тела, которые на настоящей стадии эволюции ядер проявляют огромную эруптивную активность. Поэтому ядра сейфертовского типа галактик должны бы, собственно, называться возбужденными ядрами. В то же время нет основания полагать, что указанные выше облака могут быть выброшены членами обычного звездного населения ядер, особенно, если принять во внимание тот факт, что массы некоторых облаков могут быть, по крайней мере, порядка сотен M_{\odot} и больше. Мы неизбежно приходим к заключению, что такие ядра содержат одно или более сверхмассивных незвездных тел, из которых выбрасываются газовые облака.

Что касается компактных объектов класса 5, то нужно заметить, что во всяком случае часть из них содержит сверхмассивные тела незвездной природы. Конечно, мы имеем в виду квазизвездные радиогалактики. Существенно, однако, что большая часть радиоизлучения исходит в этом случае непосредственно из такого тела. Судя по распределению энергии в спектре, доходящее до нас излучение нетепловое и характеризуется ультрафиолетовым избытком.

Нужно заметить, однако, что наличие ультрафиолетового избытка типично также и для ядер большинства сейфертовских галактик (класс 4). Более того, Маркарян показал, что многие галактики, которые должны быть отнесены к категориям 2 и 3, также имеют ультрафиолетовый избыток, который имеет, вероятно, нетепловое происхождение. Все это дает серьезное основание полагать, что незвездные тела существуют также и в ядрах галактик таких категорий. Разница заключается в том, что в этих случаях различные признаки, указывающие на присутствие таких тел, являются значительно менее явными, чем в категориях 4 и 5. В частности, светимость сверхмассивных тел в видимой части спектра слаба по сравнению со светимостью звездного компонента. Истечение газов происходит с меньшей мощностью и имеет спокойную природу.

Вот почему мне кажется, что анализ наблюдательных данных приводит нас к следующему выводу: каждое ядро содержит сверхмассивное тело, которое может быть или в эруптивном состоянии (квазизвездные галактики), или в возбужденном, активном состоянии (сейфертовские галактики), или пока еще в состоянии слабой активности (галактики 2 и 3).

Это означает, что ядро состоит из трех компонентов: *звездного населения, газа и сверхмассивного тела*. Кроме этого, будучи автономной по отношению к галактике механической системой, ядро динамически развивается вне зависимости от остальной части галактики.

О ПРИРОДЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ЯДРОМ И ГАЛАКТИКОЙ

Сделанное выше допущение о том, что каждое ядро содержит, как правило, сверхмассивное незвездное тело, находится в полном соответствии с точкой зрения, высказанной в нашем сообщении в Беркли, согласно которой ядро играет существенную, если не доминирующую роль в эволюции каждой галактики. Действительно, не является более спорным тот факт, что происхождение и эволюция, по крайней мере, некоторых из подсистем, составляющих галактику, обусловлены самим ядром. Например, подсистема, состоящая из релятивистской плазмы, которая так заметно выделяется в радиогалактиках. Пример галактик типа М 82 показывает, что в эволюции обычной газовой компоненты ядро может играть решающую роль. Однако предположения, сделанные в докладе в Беркли, о том, что как спиральные рукава, так и население второго типа возникают из вещества, выброшенного из ядра, остаются еще недоказанными и должны быть проверены различными методами. Я хотел бы сформулировать несколько соображений, за отсутствие строгости в которых я заранее приношу извинения.

Кажутся возможными две крайние точки зрения:

1) Происхождение ядра обусловлено процессом эволюции самой галактики. Последующая эволюция внешних частей галактики практически не зависит от ядра или, чтобы быть более точным, зависит, но незначительно, только от гравитационного воздействия ядра.

2) Активность ядра приводит к образованию различных компо-

нентов галактики, что объясняет решающую роль ядра в формировании галактики, хотя, конечно, подсистемы звезд, однажды образованных, эволюционируют после этого сами по себе, завися от ядра, так же, как и от других подсистем, согласно законам звездной динамики.

Теперь возникает вопрос, какова должна быть ожидаемая связь между параметрами, характеризующими ядро и галактику.

Очевидно, что если правильна первая гипотеза, то состояние галактики будет объяснять состояние ядра. В случае второй гипотезы состояние ядра должно быть в некоторой степени независимым от состояния галактики. Чтобы быть более точным, в последнем случае состояние галактики должно быть объяснено посредством всей активности ядра за предыдущий период, то есть за всю историю ядра. Это означает, что состояние галактики должно коррелироваться с современным состоянием ядра, в той мере, в какой о его истории можно судить по известному состоянию ядра.

До того, как сослаться на факты, нужно заметить что наблюдения позволяют детально характеризовать состояние галактики, в то время как наша информация относительно ядер всегда очень скудна. Вот почему даже такое косвенное рассмотрение проблемы встречается с трудностями, поскольку не имеется снимков ядер с очень большим угловым разрешением. Тем не менее, нужно подчеркнуть, что в ряде случаев, где ближайшие галактики содержат сравнительно яркие ядра, мы можем грубо оценить некоторые из их интегральных характеристик, такие, как светимость и показатель цвета. Определение диаметров ядер возможно только в нескольких случаях. Поэтому мы должны искать корреляцию состояния галактик со значениями только этих двух интегральных параметров ядер. Но значения этих двух параметров не могут с уверенностью определять всю историю ядра. Из сказанного следует, что мы можем ожидать лишь слабую корреляцию между состоянием галактик и указанными выше интегральными характеристиками ядер.

За прошедший год в нашей обсерватории было получено несколько сотен снимков галактик с целью определения характеристик их ядер. До оценки каких-либо количественных параметров наши астрономы стремились качественно оценить степень выделения ядра на фоне галактики. Была применена произвольная шкала для обозначения степени выделения ядра, значения различных оценок которой объяснены в табл. 1.

В случае оценок 3, 4, 5 мы считаем, что ядра определенно существуют, но только при баллах 4 и 5 возможна фотометрическая оценка. В случае низких баллов возможно оценить лишь верхний предел светимости ядра, который составляет только часть наблюдаемого центрального сгущения.

Значительность ядра в галактиках типов SB не очень тесно коррелируется с морфологическим подтипом галактики. Так, например, мы имеем оценки 4 и 5 в таких подтипах, как SBa, SBb, тогда как в подтипах SB0 и Sc их почти нет. Как правило, в SBc галактиках, очевидно, нет каких-либо ярких ядер.

С телескопом, имеющим другое фокусное расстояние, мы получили бы гистограммы, отличные от показанных здесь*. По-видимому, изменение легко предвидеть. При увеличении углового разрешения некоторые галактики будут смещаться вправо (в системе нашей класси-

* В английском издании доклада гистограммы отсутствуют. Здесь мы их не восстановили, имея в виду, что они приводятся в предыдущем сообщении настоящего тома (см. с. 70).

Таблица 1

Выделение ядер на изображениях галактик

Оценка	Образец (вид изображения центра)	Интерпретация
1	Нет заметной конденсации в центре	Нет ядра
2	Слабая конденсация в центре	Возможно, имеется ядро
3	Сильная концентрация в центре, однако нет звездообразного изображения	Определенно имеется ядро, однако оно неразлично от фона
4	Звездообразное ядерное изображение при коротких экспозициях, но туманное при больших экспозициях	Видно ядро, погруженное в плотную часть „балджа“
5	Звездообразное ядерное изображение, даже когда экспозиции отличаются от предельной	Яркое ядро, которое резко выделяется на фоне

фикации). Только после таких качественных оценок становятся возможными количественные оценки по методу, который скоро будет опубликован нашими астрономами.

При попытке вывести корреляцию между абсолютной интегральной величиной ядра и абсолютной (интегральной) величиной галактики для всей группы SB галактик и для Sc галактик, рассматривая только те случаи, когда ядра оценены баллами 4 и 5, видно, что в обоих случаях эта корреляция не очень тесная. Это свидетельствует об относительной независимости состояния ядра от параметров, характеризующих галактику. Независимость состояния ядра от светимости галактики является чем-то заслуживающим особого внимания. С другой стороны, мы видели выше, что у SB галактик имеется несомненная корреляция ядра с морфологическим подтипом. Наконец, в случае гигантских эллиптических галактик преобладают ядра с низкой светимостью, что служит примером более тесной корреляции. И наоборот, мы можем найти ядра различных светимостей или можем даже вообще не видеть ядро в эллиптических галактиках низкой светимости (сравни M 32, NGC 205, 185, 147). Наличие тесной или слабой корреляции, наблюдаемой у исследуемого класса галактик, сильно поддерживает вторую гипотезу, то есть предпочтение должно быть дано предложению, согласно которому ядро влияет на эволюцию галактик.

Мы должны попытаться дать более четкие очертания нашим представлениям. Допустим, что гигантские галактики начинают свою жизнь как эллиптические системы, в которых ядра тоже молодые и пока еще не обладают достаточно богатым звездным населением. С увеличением активности ядер повышается их светимость. В то же время в галактике возникают новые подсистемы. Поэтому, вероятно, что ядра с высокой светимостью будут встречаться в галактиках Sa, Sb, SBa и SBb. Наконец, галактики Sc, SBc и те из иррегулярных, которые содержат население I типа (Магеллановы Облака и другие), кажутся наиболее старыми системами. Ядра высокой светимости редко встречаются в галактиках типа Sc, в то время как в SBc и иррегулярных галактиках ядра не должны наблюдаться. При последней стадии, по видимому, имеет место ослабление и исчезновение ядер.

Астрономы, занимающиеся исследованием эволюции галактик, обычно принимают противоположное направление эволюции и считают, что объекты типа Магеллановых Облаков являются наиболее молодыми. Они утверждают, что последние системы содержат большое

число молодых звезд высокой светимости. Мне кажется, что астрономы, которые придерживаются этой точки зрения, не считают с тем, что нельзя путать молодость галактики с молодостью определенной части ее населения. Грубо говоря, мы знаем города, которые имеют историю в тысячи лет, хотя средний возраст их жителей молодой. С другой стороны, недавно возникшие современные курортные поселки имеют население, состоящее главным образом из выздоравливающих больных пожилого возраста. Со временем в районах санаториев может возникнуть промышленность, что в будущем может привлечь туда большое число молодых жителей.

Конечно, это очень грубое сравнение, так как я не очень верю в концепцию о возможности образования нескольких последовательных поколений звезд из одного и того же вещества. Поэтому такое сравнение галактик и городов весьма условно.

Таким образом, нашей отправной точкой является предположение, что в начальной стадии развития звездное население, по крайней мере внешне, напоминает нам то, что мы условно называем населением типа II. Однако это должно быть молодой разновидностью населения II. Образование населения I типа должно относиться к более поздней стадии, когда образуются спиральные рукава из выброшенного из ядра вещества.

НАЧАЛЬНЫЕ СТАДИИ ЭВОЛЮЦИИ ГАЛАКТИК

Теперь возникает вопрос, можем ли мы указать галактики, состоящие из населения типа II с более или менее прямыми признаками их молодости. Еще в 1958 году на Сольвейской конференции мы указывали, что галактика M 82, входящая в группу M 81, показывает скорость, которая, вероятно, превышает скорость ухода относительно центра тяжести этой группы. Отсюда, естественно, следует, что возраст галактики должен быть порядка 10^8 лет (или $2 \cdot 10^8$ лет). Хорошо известная работа Сандейджа и Линдса возбудила интерес к галактикам этого типа, и я хотел бы остановиться на этом вопросе более подробно.

Список де Вокулера, содержащий новую классификацию 1500 ярких галактик, включает 12 объектов типа M 82. Из них одна галактика находится на южном небе, и мы не имеем в нашем распоряжении ее снимка. Вместо нее я добавил галактику NGC 520, которая, несомненно, принадлежит к тому же типу. Из этих двенадцати галактик три (NGC 972, 3955 и 4753) являются изолированными объектами. В их окрестностях нет другой, сравнимой по светимости или диаметру галактики. Что касается галактик NGC 972 и NGC 4753, лучевые скорости которых известны, то можно с точностью утверждать, что в окружающих их объемах диаметром в 500 000 пс нет ни одной галактики, которая была бы слабее соответствующей галактики на 4 величины или менее. Они кажутся действительно изолированными объектами с довольно большой абсолютной величиной ($-20^m.0$).

Из девяти неизоллированных объектов два являются компонентами двойных систем (NGC 5195 и NGC 3448). В обоих случаях второй компонент является Sc галактикой, спиральная ветвь которой вытянута к рассматриваемому объекту. Семь галактик типа M 82 входят в бедные группы, состоящие из четырех или пяти объектов, не считая возможных объектов очень низкой светимости. Галактики M 82 и NGC 3077, входящие в группу M 81, могут служить примерами таких объектов. Описанные выше особенности являются настолько выдающимися, что могут служить пробным камнем для гипотез, объясняющих происхождение этих галактик.

Очевидно, мы можем предполагать, что в наиболее ранней стадии эволюции вновь сформированная галактика должна иметь очень низкую светимость и активное ядро. Со временем светимость должна расти. Если группы молодых галактик имеют положительные полные энергии, то мы должны иметь более молодые объекты среди групп меньших линейных размеров. Рассматривая галактики типа М 82 как такие молодые объекты, мы должны ожидать, что они должны иметь более низкие светимости в группах малых размеров и более высокие светимости—в группах больших линейных размеров. После окончательного распада группы мы должны иметь изолированные галактики типа М 82 с наивысшей возможной светимостью. Но это то, что мы наблюдаем на самом деле. Все объекты типа М 82 низкой светимости входят в компактные группы. Из трех галактик с высокими светимостями одна (NGC 520) является членом группы очень больших размеров, а две другие являются изолированными объектами.

О НЕТЕПЛОВОМ ИЗЛУЧЕНИИ ЯДЕР

Известно, что объекты типа 3С 273 обладают спектром, который резко отклоняется от кривой Планка. Распределение энергии в спектре этих объектов, очевидно, может быть лучше объяснено в рамках синхротронного излучения. Кроме того, можно полагать, что в излучении многих других ядер также имеется нетепловой компонент. Так, согласно Минковскому, ядро радиогалактики NGC 6166 особенно отчетливо видно в ультрафиолетовых лучах. Как указывалось выше, на основе анализов цветов центральных частей галактик, в которых имеется несоответствие морфологических особенностей со спектром, сделано заключение (Маркарян), что в излучении ядер таких галактик имеется голубой избыток. Наконец, получив фотографии голубой струи из галактики NGC 3561, Цвикки показал, что непрерывный спектр простирается далеко в сторону ультрафиолетовой части. Во всех этих случаях мы едва ли можем ожидать наличия значительного количества голубых звезд в ядрах этих галактик. Вот почему ультрафиолетовый или голубой избыток должен быть приписан нетепловому излучению.

Исследования, проведенные в Бюракане, установили, что некоторое число SB галактик с ядрами высокой светимости существенно краснее, чем их ядра. Иногда показатель цвета ядер $+0.2$. Хорошим примером служит галактика NGC 3504. Все это заставляет нас полагать, что нетепловое излучение ядер является довольно частым явлением. С другой стороны, наличие нетеплового излучения означает активность незвездных тел, содержащихся в ядре.

Хотя в настоящее время трудно судить о природе рассматриваемого нетеплового излучения, проявляющегося главным образом в виде ультрафиолетового избытка, тем не менее я хотел бы сделать два замечания об этом эффекте.

1) Мы никоим образом не предполагаем, что это нетепловое излучение исходит непосредственно из незвездного массивного тела. Наоборот, это нетепловое излучение исходит непосредственно из диффузного вещества, находящегося внутри ядра. Однако источником энергии излучения диффузного вещества все же оказывается предполагаемое незвездное тело. Эта энергия может передаваться диффузной материи, скажем, посредством частиц высокой энергии или, как в случае механизма релятивистских электронов, она может излучаться непосредственно этими частицами.

2) Наличие мощного ультрафиолетового избытка в далеком

ультрафиолете может иногда приводить к появлению эмиссионных линий, связанных с флуоресценцией. Наши астрономы обратили внимание на это в связи с наличием излучения H_{α} в некоторых участках M 82. Однако можно представить более поразительные примеры такого явления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение я хотел бы сказать несколько слов о теоретическом объяснении необычных явлений, связанных с ядрами галактик. Естественно, очень трудно говорить про объяснение явлений, когда мы имеем очень скудные знания об их сущности. Однако очевидно, что очень быстрые преобразования энергии играют существенную роль в этом случае. Такие быстрые процессы преобразования и освобождения энергии возникают в системах, которые характеризуются неустойчивостью возможных состояний. Релятивистская теория гравитации, с этой точки зрения, кажется наиболее подходящим направлением. Поэтому можно полностью понять тех авторов, которые ищут решение в рамках этой теории. Новиков, который работает вместе с проф. Зельдовичем, сделал первую попытку построить релятивистские модели, содержащие такие локальные взрывы.

Такие модели являются, конечно, очень полезными, и они заслуживают более детального исследования. Но пока работа по интерпретации наблюдаемых явлений все еще, даже в грубых чертах, не закончена (выше мы называли эту работу первой стадией теоретического исследования), трудно провести сравнение между построенными различными моделями и действительностью.

ОБСУЖДЕНИЕ

Р. Оппенгеймер. Не правда ли, что если наблюдаются неядерные характеристики галактик, то они не определяют свойств ядра?

В. Амбарцумян. Это важный вопрос, и, насколько мы можем судить по данным, представленным во второй половине моего доклада, корреляция ядерных характеристик с характеристиками всей галактики иногда (для некоторых типов галактик) очень слаба.

Л. Спитцер. Какие наблюдательные характеристики были использованы для классификации галактик как «объектов типа M 82»?

В. Амбарцумян. Иррегулярная форма и присутствие сильного внутригалактического поглощения. Но, чтобы быть беспристрастными, я использовал классификацию де Вокулера.

Р. Минковский. Я хотел бы добавить несколько замечаний о гигантских E-галактиках. При просмотре крупномасштабных снимков можно видеть различные случаи, начиная от сильного центрального пика, иногда содержащего, возможно, отдельное маленькое ядро, до довольно широкого центрального максимума.

Дисперсия радиальных скоростей в системах с сильными центральными пиками обычно меньше, чем в системах, которые показывают только широкий максимум и где наблюдается дисперсия лучевых скоростей в 700 км/сек или больше. Ярчайшие галактики в скоплениях принадлежат к этому второму виду: так как многие радиогалактики являются ярчайшими галактиками в скоплениях, то они также имеют тенденцию быть в этом классе.

В. Амбарцумян. Можете вы видеть ядро NGC 4486 на снимках 200" телескопа?

Р. Минковский. NGC 4486 имеет сильный пик интенсивности. В эмиссионной линии λ 3727 маленькое ядро очевидно: в непрерывном спектре не легко определить, имеется ли ядро или только высокий пик. NGC 6166 определенно имеет широкий максимум интенсивности: маленькое звездное ядро, вероятно видимое только в линии λ 3727, было наблюдеено Е. М. Бэрбидж.

Дисперсия скоростей и распределение интенсивности несут информацию о массе. Отсутствие фотометрических данных не позволяет в настоящее время делать каких-либо заключений о массах.

Е. М. Бэрбидж. Некоторые из ядер голубоватого цвета, относящиеся к описанному проф. Амбарцумяном классу 3, находятся в быстром вращении, в частности, некоторые из спиральных галактик с перемычкой. Ядро NGC 1097, как это показано, например, в Кейпском атласе южных галактик, на снимках с короткой экспозицией состоит из маленького круглого ядра, состоящего, вероятно, из звезд и окружающего кольца, судя по спектру, содержит много газа и находится в быстром вращении. Ядро NGC 1365 не проявляет такой структуры, однако быстро вращается, и градиенты скорости при различных позиционных углах показывают, что во вращении имеется компонент кругового движения. Радиус всей структуры в обоих случаях достаточно большой—порядка сотен парсеков.

Из относительных интенсивностей эмиссионных линий можно заключить, что возбуждение в газе, вероятно, обусловлено O и B-звездами. Нам кажется, что голубоватый цвет (также и в NGC 3504), возможно, обусловлен значительным количеством таких звезд. Однако само внутреннее ядро в NGC 1097 имеет, вероятно, звездное население позднего типа.

Ф. Хойл. Если эллиптические галактики являются молодыми, то, мне кажется, мы должны признать, что их звездные населения не могут быть II типа в смысле Бааде, то есть они не могут иметь диаграмму цвет-величина, сходную с той же диаграммой для шаровых скоплений. Причина этого в том, что эти диаграммы принадлежат звездам с массами порядка солнечной массы, а для них эволюционное время жизни большое. Может быть наиболее чувствительную проверку масс можно сделать по звездам горизонтальной ветви. Вычисления д-ра Дж. Фолкнера показали, что массы должны быть меньше солнечных, если звезды расположены слева от горизонтальной ветви в послегелиевых вспыхивающих стадиях.

Резюмируя, можно сказать, что если правильно, что некоторые эллиптические галактики являются молодыми, то, я думаю, мы должны признать, что их население не может быть населением нормального типа II.

Б. Стремгрен (Хойлу). Не прокомментируете ли Вы возможность значительной потери массы в процессе той стадии эволюции, когда звезда находится близ своей наивысшей светимости, и об изменениях в расчетных возрастах звезд горизонтальной ветви, которые получаются, если принять во внимание такую потерю массы?

Ф. Хойл. Чтобы уменьшить возраст до 10^8 — 10^9 лет, как того требует д-р Амбарцумян, начальная масса должна превышать $2 M_{\odot}$. При этом будет подразумеваться потеря массы, превышающей M_{\odot} , что кажется высоким. По моему мнению, начальные массы звезд шаровых скоплений не превышают M_{\odot} , так что я подозреваю, что потеря массы очень небольшая.

Л. Бирман (Е. М. Бэрбидж). Какая масса получается из Ваших

данных для вращающихся ядер галактик с диаметрами в несколько сот парсек, о которых Вы упоминали?

Е. М. Бэрбидж. Массы, грубо оцененные в кеплеровском приближении по максимальной разности скоростей, порядка 10^9 солнечных масс.

Дж. Р. Бэрбидж (Амбарцумяну). Я хотел бы для уяснения спросить о причинах, побудивших Вас заключить, что возраст М 82 только порядка 10^8 лет. Это основано на Вашей интерпретации динамических аргументов, согласно которым Вы полагаете, что М 82 уходит из группы М 81, или Вы используете аргументы о том, что форма М 82 и бурная активность в этой галактике предполагают, что она молодая?

В. Амбарцумян. Я использую только динамический аргумент.

Я. Г. Оорт. В свете большой важности вывода относительно возможно очень молодого возраста этих галактик мне кажется нужно рассмотреть возможность того, что в системе галактик М 81—М 82 имеется большая масса, чем указывается светящимися галактиками.

В. Амбарцумян. Конечно, оценка возраста М 82, которую я привел, основана только на том, что она имеет скорость большую, чем скорость ухода из группы М 81. Все члены группы М 81—М 82 хорошо известны, и поэтому верхний предел светящейся массы может быть уверенно определен. Любые оценки несветящейся массы будут совершенно произвольны. Моя идея заключается в том, что М 81 может быть намного старше М 82 и что только М 82 (и, может быть, NGC 3077) произошли недавно.

Б. Росси, Л. Бирман и Л. Вольтер свои выступления посвятили обсуждению вероятной интерпретации галактических источников рентгеновского излучения.

Примечание. В этом докладе впервые подробно рассмотрены наиболее характерные формы активности ядер галактик и разработаны принципы классификации галактик по степени различимости их ядер на общем звездном фоне центральной области. Целью такого подхода является изучение природы ядер на основе предполагаемой связи между интегральными характеристиками ядер и соответствующих галактик.