

Но наиболее интересной стороной явления дискретных источников радиоизлучения оказалось открытие, состоящее в том, что многие из них принадлежат к классам тел необычайной, не известной ранее природы.

Нормальные галактики

Нормальными в отношении радиоизлучения галактиками условились называть галактики, у которых энергия излучения в радиоволнах гораздо (в десятки и сотни тысяч раз) меньше их энергий излучения в оптических волнах. Таких галактик подавляющее большинство. В первые годы развития радиоастрономии у многих оптически ярких нормальных галактик не удавалось зарегистрировать радиоизлучение вследствие его слабости. Теперь, в связи с увеличением мощности радиотелескопов и усовершенствованием методов приема, у большинства ярких галактик радиоизлучение уловить удастся. Так, при помощи 91-метрового радиотелескопа Национальной радиоастрономической обсерватории США в 1963 г. было зарегистрировано радиоизлучение более чем у половины исследованных галактик типов Sb, Sc и I I ярче 11-й видимой звездной величины. У нормальных галактик типов E, S0 и I II радиоизлучение значительно слабее и составляет по количеству энергии лишь миллионные доли энергии, излучаемой в оптическом диапазоне. В настоящее время известно только несколько десятков отождествленных радиоисточников излучений с галактиками этих типов. Радиоизлучение спиралей Sa тоже значительно уступает по мощности радиоизлучению спиралей поздних типов.

Чем отличаются друг от друга типы галактик Sb, Sc и I I, с одной стороны, и типы E, S0 и I II, с другой? Тем, что первые богаты диффузной материей, а вторые почти лишены ее. Поэтому следует думать, что радиоизлучение связано с диффузной материей. Внутри первой группы наиболее активны в радиодиапазоне галактики Sc, затем Sb. Можно поэтому полагать, что радиоизлучение тем интенсивнее, чем развитее спиральные ветви.

Радиогалактики

Особый интерес представляют галактики с резко повышенной светимостью в радиоизлучении. Их принято называть радиогалактиками.

Наиболее выдающаяся радиогалактика — Лебедь А. Это мощнейший дискретный источник радиоизлучения. В том месте неба, где он находится, никаких оптически ярких объектов нет. Но подробное рассмотрение слабых галактик в этом месте позволило все-таки разыскать виновника мощного радиоизлучения. Им оказалась слабенькая, 18-й видимой звездной величины, двойная галактика

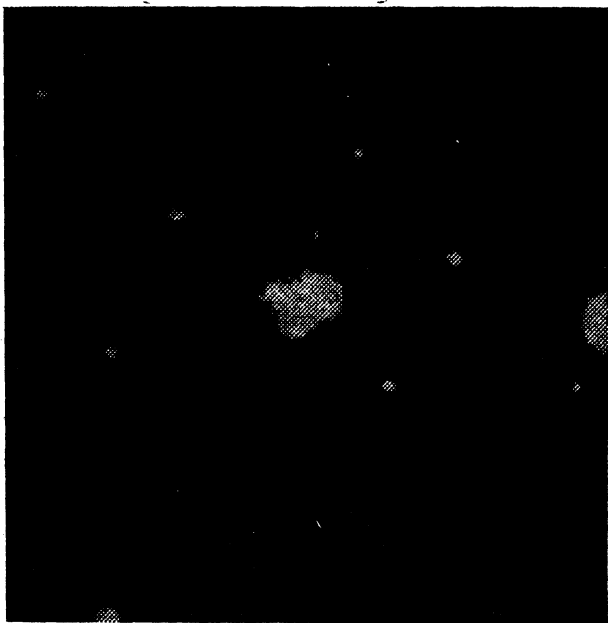


Рис. 107. Фотография двойной галактики — источника радиоизлучения Лебедь А.

с чрезвычайно тесно расположенными друг к другу компонентами. Эта галактика ввиду ее слабости в каталог NGC, конечно, не попала. Ее называют Лебедь А, потому что в созвездии Лебеда она является самым интенсивным источником радиоизлучения. Фотография этой галактики приведена на рис. 107.

Особенностью этой двойной галактики является также необычный спектр излучения. Спектр удалось получить при помощи 5-метрового телескопа, несмотря на то, что галактика очень слабая. В нем много ярких запрещенных линий элементов, т. е. таких спектральных линий, кото-

рые в обычных условиях не возникают. Более 50% всего оптического излучения галактики принадлежит этим эмиссионным линиям. Спектр показал также сильное красное смещение, что позволило определить расстояние, оказавшееся равным 200 Мпс. Зная видимую звездную величину и расстояние, можно вычислить абсолютную звездную величину двойной галактики. С учетом поглощения света в нашей Галактике получается $M = -20^m,5$. Таким образом, Лебедь А — сверхгигантская галактика, превосходящая по светимости даже нашу Галактику. Можно подсчитать, что она излучает в оптическом диапазоне частот $2 \cdot 10^{37}$ джоулей в секунду, а в радиодиапазоне $3 \cdot 10^{37}$ Дж/с. Это единственный случай для галактик, когда сравнение энергий показало преобладание энергии радиоволн над энергией оптического излучения.

Объекты, подобные галактике Лебедь А, безусловно, очень редки в Метагалактике. Это очевидно из того, что ближе расстояния 200 Мпс нет ни одного столь мощного источника радиоизлучения. Но, конечно, Лебедь А не единственный объект подобного рода во Вселенной. Другие такие объекты должны находиться на еще больших расстояниях. Поток приходящего от них радиоизлучения ввиду большего расстояния слабее, чем от источника Лебедь А, но все-таки радиотелескопы могут их обнаруживать. Оптическое же отождествление таких далеких объектов становится невозможным: соответствующие им галактики слишком слабы.

Есть все основания думать, что среди большого числа дискретных источников радиоизлучения, не поддающихся до сих пор отождествлению с оптическими объектами, часть является чрезвычайно далекими галактиками, подобными объекту Лебедь А. Современные радиотелескопы способны обнаруживать дискретные источники радиоизлучения, поток энергии которых в 8000 раз слабее, чем у галактики Лебедь А. Следовательно, те из самых слабых регистрируемых дискретных источников радиоизлучения, которые по своей физической природе аналогичны источнику Лебедь А, должны находиться на расстоянии в $\sqrt{8000} \approx 90$ раз большем, чем Лебедь А. Отношение расстояний на самом деле не столь велико, так как интенсивность излучения ослабляется также значительным на столь больших расстояниях красным смещением спектров источников радиоизлучения. Расстояние этих слабых источников радиоизлучения (если они имеют такую же при-

роду, как источник Лебедь А) можно оценить в 4000 Мпс. Радиоизлучение от этих возможных объектов должно путешествовать к нам около 12 млрд. лет!

На таких расстояниях галактики оптически наблюдаться не могут. (Лебедь А, например, имел бы 27-ю видимую звездную величину, совершенно неуловимую современными телескопами.) Радиоастрономия в несколько раз расширила доступную исследованиям область Вселенной.

Вернемся, однако, к самому объекту Лебедь А. В чем причина его необычайно мощного радиоизлучения?

Американские астрономы Бааде и Минковский предположили, что Лебедь А — это встретившиеся и проникающие друг в друга спиральные галактики. При столкновении спиралей на большой скорости встречаются диффузные массы. Происходит их разогрев и начинается свечение, в котором ввиду не очень высокой температуры значительную долю занимает радиоизлучение. Эта точка зрения может получить развитие, если предполагать, что при встрече диффузных масс значительная доля их кинетической энергии столкновения переходит в энергию относительно небольшого числа так называемых релятивистских частиц, т. е. частиц, движущихся с огромными скоростями. Релятивистские частицы, проходя через магнитные поля, замедляют свое движение, их кинетическая энергия уменьшается и при этом излучается энергия преимущественно в виде радиоволн, но также и в оптическом диапазоне.

На важную роль этого механизма излучения, вызываемого движением релятивистских частиц в слабых магнитных полях, впервые указал И. С. Шкловский. Возникающее таким образом излучение принято называть синхротронным, потому что оно было обнаружено в ускорителе элементарных частиц — синхротроне.

Известны еще два случая, когда отождествленные с оптическими объектами источники радиоизлучения обладают тем свойством, что энергия радиоизлучения сравнима с энергией оптического излучения. Это Гидра А и Геркулес А. У них энергия радиоволн только в четыре раза меньше энергии световых волн. В обоих этих случаях отождествляемые галактики снова оказались двойными.

Несколько ярких галактик, входящих в каталог NGC, также отнесены к разряду радиогалактик потому, что их радиоизлучение аномально сильное, хотя оно значи-

тельно уступает по энергиям световому излучению. Из этих галактик NGC 1275, NGC 5128, NGC 4782 и NGC 6166 также являются двойными. Бааде и Минковский считали, что эти факты подтверждают их гипотезу случайного образования радиогалактик при столкновениях звездных систем, содержащих в себе диффузную материю.

Противоположную точку зрения на природу радиогалактик высказал В. А. Амбарцумян. Он указал, что изучение снимка источника радиоизлучения Лебедь А убеждает в том, что если наблюдается столкновение двух галактик, то это столкновение — центральное с точным попаданием ядра в ядро. Между тем центральные столкновения должны происходить гораздо реже, чем нецентральные. Для встречи диффузной материи двух звездных систем и образования радиогалактики по гипотезе Бааде и Минковского вовсе нет необходимости в центральном столкновении. Достаточно и нецентрального столкновения, которое приведет к созданию несколько менее мощной радиогалактики. Поэтому в случае правильности гипотезы столкновения должно было бы наблюдаться много радиогалактик, образованных нецентральным столкновением парой галактик. Среди таких радиогалактик многие должны были бы находиться ближе и наблюдаться отчетливее, чем Лебедь А. Но ничего подобного нет. Более того радиогалактика NGC 5128 также, если допустить гипотезу столкновения, представляет собой пример строго центрального столкновения, что в рамках гипотезы столкновения кажется еще более удивительным.

В. А. Амбарцумян считает, что радиогалактики являются результатом процесса разделения первоначального тела на два тела — две удаляющиеся друг от друга галактики. Стадия деления — переход материи из более плотного состояния в менее плотное — вызывается взрывными процессами, которые сопровождаются интенсивным радиоизлучением.

Радиогалактика, следовательно, есть стадия, через которую проходит каждая галактика в самый ранний период своего развития. В гипотезе деления естественно объясняется тесное и взаимно центральное расположение компонентов двойных радиогалактик. Однако не вполне раскрытым остается механизм образования радиоизлучения. Но нужно иметь в виду, что мы не знаем аналогов

такого грандиозного процесса, как возможный процесс разделения галактик в результате взрыва, и потому неудивительно, что сам механизм взрыва и сопровождающие его процессы пока остаются неясными. Однако можно предполагать, что при взрыве радиогалактики, как и при вспышке сверхновой, образуется большое количество частиц, летящих с огромными скоростями в магнитных полях и порождающих синхротронное излучение. Это излучение, по-видимому, составляет главную часть оптического излучения и полностью определяет радиоизлучение радиогалактики. Характерно, что районы радиоизлучения обычно простираются далеко за пределы оптически наблюдаемой области радиогалактики. Должно быть, в эти районы уже проникли релятивистские частицы.

Радиоисточник Лебедь А излучает в радиодиапазоне и оптическом диапазоне 10^{38} Дж/с. Стадия радиогалактики не может быть длительной. Можно предположить, что она длится около 1 млн. лет. Тогда за период пребывания в стадии радиогалактики типа Лебедь А излучается $3 \cdot 10^{51}$ Дж. Эта энергия (синхротронного излучения) вызвана замедлением движения релятивистских частиц в магнитных полях. Но это только небольшая доля — от 0,01 до 0,001 всей энергии, развязанной взрывом. Поэтому энергию взрыва радиогалактики нужно оценить в 10^{53} — 10^{54} Дж. При полном переходе водорода Солнца в гелий выделится 10^{45} Дж. Значит, энергия взрыва радиогалактики равна энергии перехода водорода в гелий почти у миллиарда солнц. У Солнца этот переход протекает около десяти миллиардов лет. А у радиогалактики энергия, равная энергии перехода водорода в гелий у миллиарда солнц, освобождается мгновенно в результате грандиозного взрыва.

Не все радиогалактики являются двойными системами. NGC 2623 и NGC 4486 — одиночные объекты. У них, так же как и у двойных радиогалактик, в спектрах есть яркие запрещенные линии. Кроме того, у этих галактик имеются своеобразные черты, выделяющие их из среды других галактик.

Особенно интересна сверхгигантская радиогалактика NGC 4486. Мы уже писали о ней в гл. III (рис. 77), отмечая, что она обладает самой большой из известных масс галактик и окружена самой богатой системой шаровых скоплений. Но у этой галактики имеется еще одна замечательная особенность. Фотография ее центральной

части, выполненная на 5-метровом телескопе при значительном увеличении и сравнительно небольшой экспозиции, показывает (рис. 108), что NGC 4486 имеет маленькое яркое ядро, из которого выброшена прямая тонкая струя светящейся материи. У этого светящегося выброса, имеющего длину 22" или в линейной мере около



Рис. 108. Фотография центральной части радиогалактики NGC 4486.

1000 пс, спектр излучения такой, какой должен создаваться релятивистскими частицами, движущимися в магнитных полях. Это подтверждает наличие быстрых движений и то предположение, что наблюдаемая полоса есть выброс, который может быть произведен только из ядра галактики.

Таким образом, мы снова встречаемся с явлением активности ядер галактик, причем активность носит характер взрывного процесса. Любопытно, что выброс наблюдается только в одну сторону от ядра. Это, казалось бы, является нарушением законов физики. Согласно третьему закону Ньютона всякий выброс из ядра в некотором направлении должен компенсироваться выбросом в противоположном направлении.

Долгое время односторонний характер выброса в NGC 4486 служил пищей для различного рода догадок и предположений. Однако в 1967 г. Арпу удалось получить снимки NGC 4486, на которых видна и полоска светящейся материи, выходящая из ядра и точно направленная в противоположную сторону, причем наибольшая яркость полоски отмечается на расстояниях 26", а затем 38" от центра. Особенно явствен контрвыброс в лучах H_{α} , что указывает на важную роль диффузной материи в создании излучения.

Почему все-таки выброс и контрвыброс так различны? Почему первый четко и ярко виден на обычных фотографиях, а второй удается обнаружить только приняв при фотографировании специальные меры? Возможно следующее объяснение: обширная часть центральной области NGC 4486 заполнена темной материей. Выброс, который мы считаем основным, направлен от ядра не только в сторону, но и к нам, а следовательно, контрвыброс, устремленный в противоположную сторону, направлен от нас. Он должен быть тогда в значительной мере заслонен темной материей и плохо различаем.

Поскольку NGC 4486 и NGC 2623 — это одиночные объекты, объяснить их радиоизлучение при помощи гипотезы столкновения нельзя. Это серьезный аргумент против гипотезы Бааде — Минковского и в пользу гипотезы В. А. Амбарцумяна, которая рассматривает явление мощного радиоизлучения в некоторых галактиках как результат взрывных процессов космического масштаба.

Дополнительным аргументом в пользу своей гипотезы В. А. Амбарцумян считает то обстоятельство, что все радиогалактики являются сверхгигантами в отношении оптической светимости. По новейшим данным для 24 радиогалактик их средняя абсолютная звездная величина равна $-21^m,4$. Предположение, что разделение преимущественно происходит у сверхгигантских объектов, кажется естественным. В рамках же гипотезы случайного столкновения нельзя понять, почему сталкиваются именно сверхгиганты. Астрономия не располагает данными о каком-либо механизме, который при возможном столкновении галактик резко увеличивал бы их оптическую светимость.

Среди радиогалактик большая часть является эллиптическими галактиками. Это сверхгиганты с необычно-

венно сильным радиоизлучением. Интересно, что среди нормальных галактик самым слабым, труднообнаруживаемым радиоизлучением обладают именно эллиптические галактики. Почему эллиптические галактики являются носителями самого сильного и самого слабого радиоизлучения в мире галактик, сказать пока трудно.

Интересна также особенность радиогалактик, состоящая в том, что площадь всей области, от которой исходит радиоизлучение, во много, в сотни раз больше площади, наблюдаемой оптически. В некоторых случаях радиоизлучающие области простираются на 100 и более кпс от центральной части радиогалактики. Следовательно, на таких больших расстояниях прослеживается диффузная материя, генерирующая радиоизлучение. Естественно задать вопрос, не являются ли столь же обширными пространства, занимаемые диффузной материей у нормальных сверхгигантских галактик? Быть может, различие состоит лишь в том, что в диффузной материи нормальных галактик не происходят процессы, генерирующие радиоизлучение, а простирается она так же далеко, как и у радиогалактик. В таком случае диффузная материя нашей Галактики должна охватывать Магеллановы Облака, и Магеллановы Облака погружены в нее. Диффузная же материя Галактики и диффузная материя нашего ближайшего сверхгигантского соседа — галактики NGC 224 соединяются, проникают друг в друга.

Из 2270 дискретных источников радиоизлучения Сиднейского каталога 55 расположены в направлении далеких скоплений галактик. Так как одна радиогалактика в радиодиапазоне излучает в тысячи раз больше, чем нормальная галактика, то нужно думать, что радиоизлучение, исходящее от скопления галактик, определяется скорее всего одной оказавшейся в скоплении радиогалактикой, чем совокупным действием всех остальных галактик скопления. Радиогалактики встречаются очень редко, их не может быть много в одном скоплении.

В нескольких скоплениях галактик удалось отождествить ту галактику, которая создает все или почти все радиоизлучение скопления, — является радиогалактикой. Каждый раз это оказывалась эллиптическая галактика, имеющая слабое сжатие, почти круглая и расположенная у самого центра скопления. Каждый раз это сверхгигант — первая по светимости и по размерам галактика скопления.

Каталог оптически отождествленных радиогалактик с измеренными значениями красных смещений спектров $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$, опубликованный Бербиджем и Крауном в 1979 г., содержит уже 495 объектов.

Наблюдение радиолинии нейтрального водорода в других галактиках

Во многих не очень далеких галактиках можно уверенно наблюдать эмиссионную линию нейтрального водорода, имеющую, как мы знаем, длину волны 21 см. Это показывает, что другие галактики, как и наша, содержат межзвездный водород. Так как галактики имеют

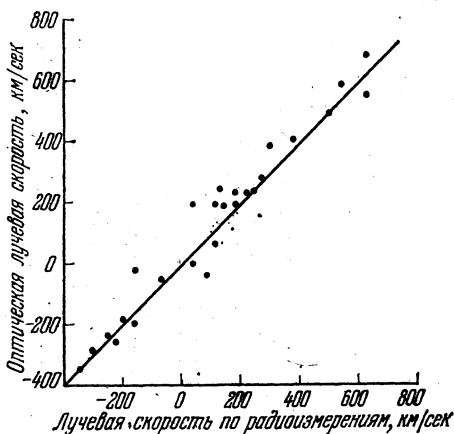


Рис. 109. Сравнение лучевых скоростей, измеренных по оптическим линиям и радиолинии спектров галактик.

значительные лучевые скорости, то эмиссионная линия нейтрального водорода должна быть вследствие эффекта Доплера смещена. Появляется возможность, измерив смещение этой линии, еще раз определить лучевую скорость галактики и сравнить ее с лучевой скоростью, найденной по оптическим спектральным линиям.

Сравнение было проделано для многих галактик. Результаты подобных сопоставлений нагляднее всего выражать графически. На одной оси координат откладывают полученные измерения величины одним способом,