

10^{57} эрг энергии в форме космических лучей. За одну секунду теряется, следовательно, 10^{40} — 10^{41} эрг.

Если принять, что одна сверхновая вспыхивает раз в 300 лет и при этом образуются космические лучи с общей энергией порядка 10^{50} эрг, то за одну секунду к общей энергии лучей в Галактике в среднем добавляется 10^{40} эрг, т. е. величина, близкая к потере энергии при столкновениях. Следовательно, сверхновые звезды способны непрерывно пополнять значительную часть убыли энергии космических лучей. Являются ли они основным источником космических лучей — сказать трудно, так как мы еще мало знаем об уходе этих лучей из Галактики в межгалактическое пространство. Но, во всяком случае, многие из тех частиц, которые влетают в земную атмосферу и расщепляют в ней ядра атомов, когда-то вышли из недр сверхновой звезды и странствовали среди межзвездных магнитных полей до тех пор, пока не встретились с Землей.

§ 8. ВЗРЫВЫ В ЯДРАХ ГАЛАКТИК

Прослеживая различные звездные взрывы в порядке увеличения их силы, мы закончили вспышками сверхновых звезд. Долгое время считали, что эти вспышки являются самыми грандиозными из космических катастроф. Но за последние несколько лет обнаружены следы несравненно более мощных космических взрывов, освобождающих, как мы увидим, энергию, эквивалентную миллионам солнечных масс. Понятно, что такие взрывы не могут случаться в отдельных звездах. Они происходят в центральных областях (ядрах) галактик — звездных систем, массы которых измеряются миллиардами масс Солнца. В этом параграфе мы расскажем о взрывах в ядрах галактик, но предварительно познакомимся несколько подробнее, чем мы делали до сих пор, с миром галактик.

Многие из галактик похожи на нашу Галактику наличием спиральных ветвей. Они называются спиральными. Наблюдаются также звездные системы сравнительно правильной эллиптической формы и без заметных спиральных ветвей. Эти галактики получили название эллиптических. Существуют звездные системы, не обладающие какой-либо специфической формой и представляющиеся просто туманными объектами. Они называются неправильными галактиками. Таковы две ближайшие к Галактике системы —

Малое и Большое Магеллановы Облака. Указанные классы или типы галактик — основные. Различают и промежуточные подклассы.

В галактиках, расположенных достаточно близко к нам, можно различить отдельные яркие звезды, а также шаровые скопления и яркие газовые туманности. Для подобных объектов, входящих в Галактику, известна зависимость между их видимым блеском (звездной величиной) и расстоянием до Солнца. Следовательно, по наблюдаемой звездной величине того или иного объекта в другой галактике можно найти и расстояние до нее. Таким путем было установлено, что каждому подклассу галактик соответствует определенное среднее значение интегрального блеска *) галактики, принадлежащей к этому подклассу.

Вместе с тем, видимый блеск галактики зависит и от ее расстояния до нас: он изменяется, как известно, обратно пропорционально квадрату расстояния. Поэтому, зная к какому типу относится галактика, по ее блеску можно сравнительно надежно получить расстояние до этой галактики, даже если в ней не удается различить отдельных звезд. Тип же галактики определяется ее внешним видом.

После того как в двадцатых годах текущего столетия при помощи $2\frac{1}{2}$ -метрового телескопа были получены спектры слабых и, следовательно, очень далеких галактик, обнаружилась замечательная закономерность. Линии в спектрах удаленных галактик оказываются смещеными в сторону длинных волн (к красному концу), причем это смещение пропорционально расстоянию галактики от нас. Этот закон выражается формулой

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{H}{c} r, \quad (29)$$

где $\Delta\lambda$ — величина смещения линии, λ — несмещенная длина волны, r — расстояние до галактики и H — так называемая постоянная Хаббла. Для величины H из современных наблюдений получено значение, близкое к 30 км/сек на 1 миллион световых лет. Это означает, что, например, в спектре галактики, удаленной от нас на 300 миллионов световых лет, линия с длиной волны λ смещена на величину $\Delta\lambda = \frac{3 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^9} \cdot 3 \cdot 10^2 \lambda = 3 \cdot 10^{-2} \lambda$.

*) Интегральным блеском галактики называют наблюдаемый суммарный блеск всех входящих в нее звезд и туманностей.

«Красное смещение» линий в спектрах далеких галактик обусловлено эффектом Доплера и является результатом своеобразного движения галактик. Характер этого движения таков, что все галактики кажутся движущимися от нас. Но это ни в коей мере не означает преимущественного положения Галактики в Метагалактике. Просто все

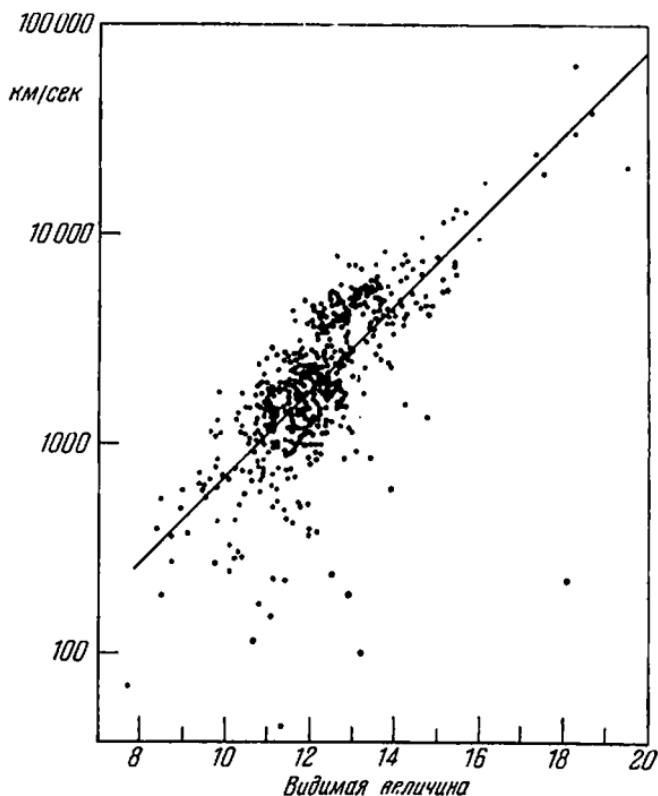


Рис. 39. Связь между видимой звездной величиной галактики и смещением линий в ее спектре. (Чем больше видимая звездная величина галактики, тем дальше от нас она находится.)

галактики взаимно удаляются друг от друга и наблюдатель, находящийся в какой-либо далекой звездной системе, должен видеть, как все другие галактики, в том числе и наша Галактика, удаляются от него *). Природа этого

*) Иллюстрацией такого положения будет, например, движение точек поверхности раздувающегося резинового шарика. Ни одна из них не имеет преимущественного положения, но все точки удаляются от любой данной точки.

«разбегания галактик» окончательно не выяснена, а обсуждением различных теорий этого явления мы здесь заниматься не можем. Мы говорим о «красном смещении» только как об эффекте, на основе которого находят расстояния до самых удаленных объектов в Метагалактике.

По своим размерам в среднем наибольшими из галактик являются спиральные. Они же содержат и больше звезд, чем галактики других типов. Среди спиральных галактик выделяются самые крупные, такие, как наша Галактика, называемые гигантскими. Самые маленькие из галактик, карликовые, насчитывают всего десятки миллионов звезд. Они, как правило, принадлежат к типу эллиптических.

Массы галактик находят тем же путем, что и массу нашей Галактики — по скорости вращения (см. § 3). Для Галактики было получено значение около $2 \cdot 10^{11} M_{\odot}$. Оно характерно для гигантских галактик. В большинстве же случаев массы галактик составляют 10^9 — $10^{10} M_{\odot}$.

Очень яркая центральная область галактики, имеющая поперечник порядка нескольких десятков световых лет, называется ядром галактики. Ядра на снимках различаются только у самых близких к нам галактик, например, у туманности Андромеды (ее обозначают М 31, так как под этим номером она содержится в каталоге, составленном астрономом Мессье). Но даже у этих галактик структуру ядра установить пока не удалось. Ранее предполагалось, что ядра спиральных галактик представляют собой просто сгущения звезд, но результаты наблюдений, о которых мы скажем ниже, указывают на более сложное их строение.

При изучении структуры ядер галактик, казалось бы, наиболее естественно прежде всего обратиться к ядру нашей Галактики. Но оно настолько закрыто поглощающими свет газово-пылевыми облаками, что даже прилегающие к ядру области мы не можем видеть. Окрестности ядра Галактики исследованы при помощи радиоастрономических методов. Некоторые результаты этого исследования будут также изложены далее.

Большинство звезд спиральной галактики содержится в центральной области (диске). В спиральных же рукавах сосредотачиваются гигантские горячие звезды классов О и В и, соответственно, там же расположены светящиеся под действием этих звезд области межзвездного газа. В областях, более близких к центру, относительно много

холодных гигантов. Пространство между ветвями не пусто, но звезд и газа в нем гораздо меньше, чем в ветвях.

Об излучении галактик в оптическом диапазоне здесь много говорить не приходится, так как оно обусловлено тепловым свечением звезд и межзвездной среды, о котором подробно рассказывалось выше. Но, помимо оптического диапазона, галактики испускают энергию и в радиочастотах. В частности, наша Галактика также является источником радиоизлучения. При этом лишь ее излучение на сантиметровых и дециметровых волнах исходит главным образом от нагретого газа, а более длинноволновое — преимущественно синхротронное. Оно испускается релятивистскими электронами при их движении в межзвездных магнитных полях.

Для наблюдателя, находящегося вне Галактики, она представилась бы относительно слабым источником радиоизлучения: в радиодиапазоне она излучает в сотни тысяч раз слабее, чем в оптическом. Однако существуют звездные системы, поток радиоизлучения от которых в тысячи и десятки тысяч раз интенсивнее, чем от нашей Галактики и подобных ей звездных систем — нормальных галактик. Такие сильно излучающие в радиодиапазоне объекты называют радиогалактиками.

В ряде случаев радиогалактики удалось отождествить с системами, наблюдаемыми и оптическими средствами. Но бывает, что источник радиоизлучения не заметен в видимом свете. Тогда можно говорить просто о дискретном источнике радиоизлучения. Часто в тех случаях, когда виден оптический объект, соответствующий радиогалактике, его угловые размеры оказываются гораздо меньшими, чем размер радиоисточника. Это означает, что основная масса галактики, из которой выходит и оптическое, и радиоизлучение, окружена очень протяженной областью, не дающей оптического излучения. Подобные области существуют и у некоторых нормальных галактик, но их радиоизлучение оказывается слабым.

Если принять, что излучение радиогалактик является тепловым, то при наблюдаемой радиояркости их для температуры излучающего газа получится величина в миллиарды градусов. При столь высоких температурах оптическое излучение должно в огромное число раз превосходить радиоизлучение. Но мощность излучения радиогалактики в радиодиапазоне сравнима с мощностью ее

оптического излучения. Следовательно, излучение радиогалактик в основном нетепловое. Имеется много данных, указывающих на то, что оно, как и длинноволновое радиоизлучение Галактики, обусловлено синхротронным механизмом. Одним из важнейших доводов в поддержку этой точки зрения является наблюдаемая в ряде случаев поляризация излучения радиогалактик не только в радиочастотах, но и в оптической области.

Информация, полученная из наблюдений радиогалактик, оказалась чрезвычайно важной для изучения взрывов в ядрах галактик. В первую очередь скажем о радиогалактике в созвездии Лебедя, называемой «Лебедь А».



Рис. 40. Схематическая структура источника радиоизлучения Лебедь А. В центре изображен оптически наблюдаемый объект — галактика с двойным ядром. Заштрихованы области радиоизлучения.

В 1954 г. было получено оптическое изображение этого, одного из самых мощных, внегалактического источника радиоизлучения. По величине «красного смещения» линий в спектре при помощи соотношения (29) нашли, что расстояние источника Лебедь А от нас порядка 500 миллионов световых лет. По наблюдаемому потоку излучения от этой радиогалактики при известном расстоянии до нее сделана оценка общего количества излучаемой в радиодиапазоне энергии. Она дала величину порядка 10^{45} эрг/сек, что гораздо больше, чем все излучение Галактики в оптическом и радиодиапазонах. Видимое изображение радиогалактики Лебедь А сравнительно слабое и энергия излучения в этой области спектра даже меньше приведенной величины.

Наиболее любопытной особенностью радиогалактики Лебедь А, сразу же привлекшей к себе внимание, является ее двойственность. Между двумя протяженными источниками радиоизлучения, центры которых удалены друг от друга приблизительно на 500 тысяч световых лет, находится оптически яркая область в десять раз меньшего

размера. Эта область в свою очередь состоит из двух частей. Таким образом, радиоисточник Лебедь А можно представить как галактику с двойным ядром. В противоположные стороны от ядра движутся два гигантских сгустка плазмы со скоростью тысячи километров в секунду.

В галактике Лебедь А содержатся огромные газовые облака, движущиеся хаотически с большими скоростями. Такой вывод был сделан на основе наблюдений оптического спектра этой галактики, в котором присутствует множество эмиссионных линий, характерных для газовых туманностей. По ширине линий и нашли, что они возникают в газе, охваченном беспорядочными движениями, скорости которых доходят до 500 км/сек.

В первое время после открытия двойственности источника Лебедь А эту особенность пытались объяснить предположением, что мы наблюдаем две сталкивающиеся гигантские галактики. Эта точка зрения теперь оставлена по ряду причин, в частности потому, что придерживаясь ее, трудно понять, как возникает огромное количество излучаемой энергии. При столкновении галактик лишь очень малая часть общего запаса кинетической энергии может переходить в радиоизлучение. Кроме того, столкновения гигантских галактик такого вида, какой предполагался в случае Лебедь А (сталкиваются ядра, имеющие очень малые размеры), исключительно маловероятны. Если бы они происходили, то тогда гораздо более многочисленными должны были бы быть нецентральные столкновения карликовых галактик, которые, однако, не наблюдаются.

Существует и совершенно иной взгляд на природу как источника Лебедь А, так и других радиогалактик. Предполагается, что в ядре Галактики Лебедь А некоторое время назад произошел взрыв, при котором оно разделилось на две части. Одновременно в противоположных направлениях были выброшены две массы, которые и наблюдаются сейчас как центры радиоизлучения.

Возраст радиогалактики Лебедь А, т. е. время, прошедшее после взрыва в ее ядре, оценивается различными путями. Оно не менее 10^3 лет, а вероятнее всего, гораздо больше — 10^6 — 10^7 лет. Мощность излучения этой радиогалактики сейчас порядка 10^{45} эрг/сек или более, и нет оснований предполагать, что оно после взрыва было меньше. Поэтому энергия, освободившаяся в результате взрыва и следовавших за ним процессов, составила по меньшей

мере 10^{56} — 10^{58} эрг. Поскольку мы наблюдаем только излучение в отдельных областях спектра, и, кроме того, ранее излучение могло быть более сильным, то можно предположить, что энергия взрыва доходила до 10^{59} — 10^{60} эрг.

Структура некоторых других мощных внегалактических источников радиоизлучения, например, Центавр А, Печь А, очень похожа на ту, которая наблюдается у источника Лебедь А. Это двойные радиогалактики, у которых центры

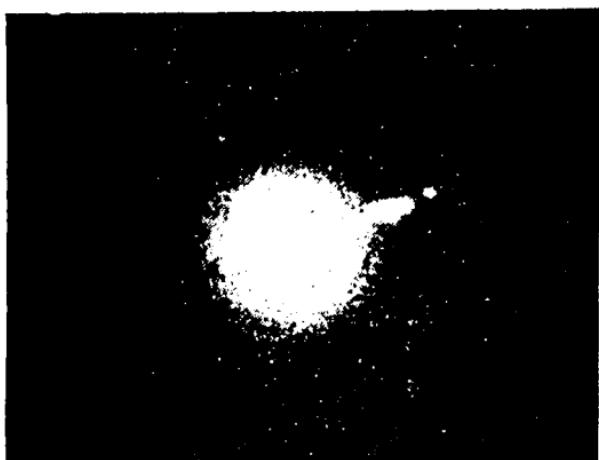


Рис. 41. Галактика М 87 (источник радиоизлучения Дева А). Справа заметен выброс из ядра этой галактики.

радиоизлучения расположены симметрично относительно оптически наблюдаемой галактики, на значительном расстоянии от нее. Во всех этих случаях взрыв в ядре приводил к выбросу вещества в двух противоположных направлениях с приблизительно одинаковой мощностью.

С явлениями, которые вызываются взрывными процессами, охватывающими значительную по объему часть звездной системы, мы встречаемся и в таких галактиках, где двойственности не замечается. Очень интересной в этом отношении оказалась гигантская эллиптическая галактика М 87, удаленная от нас на 50 миллионов световых лет. Эта система, наблюдающаяся на небе в созвездии Девы, и по положению, и по форме совпадает с сильным источником радиоизлучения Дева А.

На фотографии туманности M 87 (рис. 41) хорошо видно светящееся образование — струя, или выброс, исходящий из центральной части галактики. Эта струя содержит несколько сгустков, оптическое излучение которых оказалось сильно поляризованным. Длина струи составляет несколько тысяч световых лет. Цвет ее излучения голубой, а спектр этого излучения не содержит линий. Расстояние основных сгустков в струе от центра галактики не менее нескольких десятков тысяч световых лет.

Связь струи с ядром галактики M 87 достаточно отчетлива и не оставляет сомнения в том, что струя возникла в результате взрывного процесса в ядре. Выбрасывание газа из ядра галактики M 87 продолжается, как показывает характер ее спектра, и в настоящее время. В спектре близкой к ядру галактики области присутствуют эмиссионные линии, смещенные в сторону коротких волн. По-видимому, это смещение вызвано движением светящихся газовых масс. Для скорости движения получается величина порядка тысячи километров в секунду.

Радиоизлучение исходит как из ядра галактики, так и из окружающей его протяженной области размером порядка ста тысяч световых лет. Кроме того, сильное радиоизлучение, особенно заметное на коротких (декиметровых) волнах, присуще и струе. По сильной поляризации оптического и радиоизлучения струи заключают, что оно обусловлено синхротронным механизмом. Как и в Крабовидной туманности, оптическое излучение является продолжением радиоспектра в сторону коротких волн.

Оценка напряженности магнитного поля в струе приводит к значениям порядка 10^{-4} эрстед. В таких полях электроны большой энергии, создающие оптическое излучение струи, должны потерять большую часть своей энергии («высветиться») приблизительно за тысячу лет. Но струя существует по меньшей мере десятки тысяч лет, если принять, что скорость выбрасывания была близкой к скорости света. Наиболее же вероятно, что взрыв в ядре произошел миллионы лет назад. Следовательно, релятивистские электроны, дающие оптическое излучение струи, не были выброшены из ядра, а получили свою большую энергию уже в ней. Как мы видим, при взрыве в ядре галактики M 87 из него было выброшено некоторое образование, до сих пор являющееся источником релятивистских частиц.

Мощность излучения струи порядка 10^{48} эрг/сек. За миллионы лет, прошедшие после взрыва, она должна была испустить всего 10^{66} — 10^{67} эрг энергии в виде излучения. Здесь мы опять имеем то же значение для минимального количества энергии, освобождаемой в результате взрыва в ядре галактики, какое получено выше для энергии взрыва в источнике Лебедь А и других. Количество энергии, освобождаемой при таких взрывах, в десятки миллионов раз больше, чем энергия вспышки сверхновой.

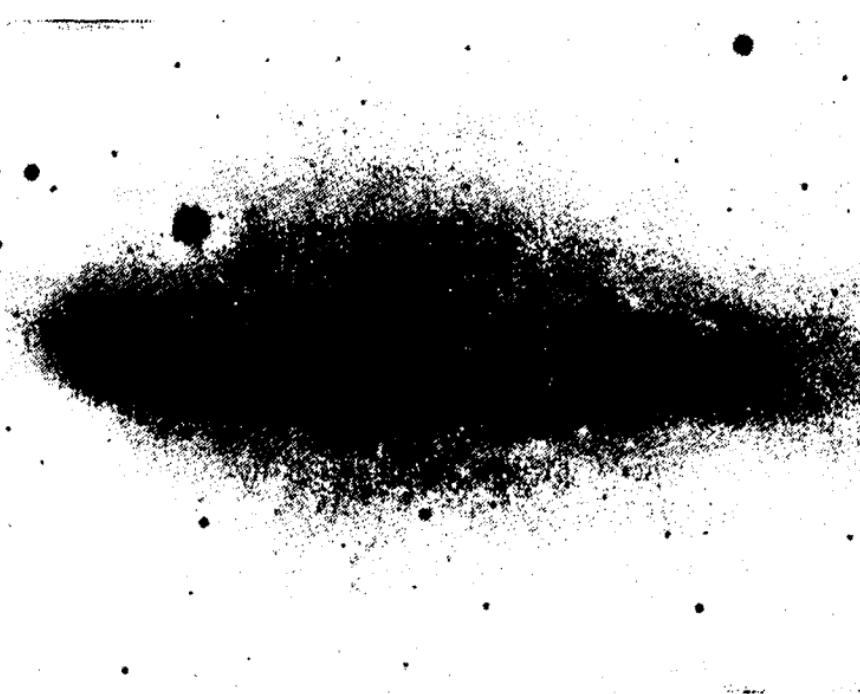


Рис. 42. Галактика М 82. (Фотография в непрерывном спектре.)

Наблюдения близкой к нам неправильной галактики М 82 дали очень интересную картину движений газа, вызванных сравнительно недавним взрывом в ее ядре. В этой галактике, несмотря на ее неправильную форму, можно выделить два преимущественных направления — одно по наибольшей вытянутости и другое ему перпендикулярное (рис. 42). Будем называть их большой и малой осями. Вдоль малой оси М 82 видна система волокон. Они излучают главным образом в частотах спектральных линий,



Рис. 43. Галактика М 82. (Фотография в лучах линии $\text{H}\alpha$.)
Хорошо заметна волокнистая структура в центральной части.

а не в сплошном спектре, причем особенно много энергии выходит в длине волн водородной линии H_{α} . Фотография туманности, снятая с оптическим фильтром, пропускающим лишь излучение в линии H_{α} и в небольшом соседнем участке шкалы длин волн, хорошо демонстрирует систему волокон. Сравнивая рис. 42 и 43, мы видим также различие между областями, преимущественно излучающими в линейчатом спектре, и областями непрерывного излучения. Волокна распространяются на 10—12 тысяч световых лет от центра галактики.

По смещению линий в спектрах волокон удалось установить, что составляющее их вещество движется от центра галактики со скоростью около 1000 км/сек. Для того чтобы пройти с такой скоростью расстояние в 10 тысяч световых лет, требуется три миллиона лет. Следовательно, взрыв в ядре галактики, который вызвал такое движение газа, произошел несколько миллионов лет назад.

По своей волокнистой структуре центральные области М 82 напоминают Крабовидную туманность. Это сходство усиливается также и тем, что излучение волокон М 82 сильно поляризовано. Наконец, как и в случае Крабовидной туманности, область М 82, занятая волокнами, является источником радиоизлучения (правда, не очень мощным).

В свете этих фактов естественным представляется вывод о синхротронной природе излучения волокон М 82 в частотах непрерывного спектра. Своеобразная форма волокон, образующих дуги (см. рис. 43), обусловлена, по-видимому, действием магнитных полей на плазму — она движется вдоль силовых линий поля. После того как по наблюдениям поляризации определили направление силовых линий магнитного поля, оказалось, что направление силовых линий в общем совпадает с направлением волокон.

Свечение волокон галактики М 82 в спектральных линиях можно объяснить так же, как и в случае Крабовидной туманности. Там имеются, по-видимому, релятивистские электроны настолько большой энергии, что они излучают фотоны, соответствующие ультрафиолетовой области спектра. Эти фотоны способны возбуждать атомы газа и создавать, тем самым, его излучение в частотах спектральных линий. Обнаружение рентгеновского излучения галактики М 82 позволяет предположить существование в ней электронов еще большей энергии,

Хотя по структуре, созданной взрывом в ядре, центральные области галактики М 82 внешне сходны с туманностями, возникшими при вспышках сверхновых, эти явления совершенно различны по своему масштабу. Энергия E_0 излучения галактики в частоте линии, доходящая до земного наблюдателя, составляет приблизительно $2 \cdot 10^{-11}$ эрг/см²·сек. Так как расстояние r до этой галактики около 25 миллионов световых лет, всего ею излучается за одну секунду в линии Н_α энергия $4\pi r^2 E_0 \approx 10^{41}$ эрг/сек. Подчеркнем, что излучение М 82 настолько интенсивно спустя миллионы лет после взрыва, тогда как Крабовидная туманность через 900 лет после своего образования излучает в той же линии около 10^{34} эрг/сек.

Найдем кинетическую энергию газа, движущегося от ядра М 82. Масса этого газа вычисляется по величине занимаемого им объема и плотности. Объем, определенный путем измерения фотоснимков галактики, оказался порядка 10^{63} см³. Концентрация атомов водорода в излучающем газе оценивалась по наблюдаемому потоку излучения в линии Н_α и составляет около 10 атомов в 1 см³. Следовательно, общее число атомов в указанном объеме приблизительно 10^{64} , а вся масса газа, если он состоит преимущественно из водорода, около $2 \cdot 10^{40}$ г. Выше мы указывали, что скорость движения волокон близка к 10^8 см/сек и, значит, кинетическая энергия их порядка 10^{56} эрг.

Общее количество энергии, освободившейся при взрыве в ядре галактики М 82, помимо только что вычисленной кинетической энергии, должно включать также энергию космических лучей и магнитного поля, которая в настоящее время оценивается в $10^{55} - 10^{56}$ эрг. Кроме того, излучение галактики за время, прошедшее после взрыва, должно составлять не менее 10^{55} эрг, а возможно, и 10^{56} эрг. Таким образом, для энергии взрыва в ядре галактики М 82 получается величина порядка $10^{56} - 10^{57}$ эрг, что практически совпадает с энергией взрывов в ядрах других галактик.

Взрыв в ядре галактики вызывает, как мы видим, бурные движения газа вблизи ядра. В связи с изучением таких взрывов большой интерес представляют «сейфертовские» галактики (названные по имени исследовавшего их ученого), у которых ядра оказываются областями необычной активности. Характерной особенностью такого ядра является его очень большая яркость по сравнению с остальной частью галактики. Кроме того, в спектрах

ядер сейфертовских галактик содержатся эмиссионные линии, принадлежащие главным образом ионизованным атомам различных элементов. Линии очень широки и сложной структуры. Они состоят из отдельных «пичков». Исходя из такой структуры, принимают, что линии образованы в гигантских комплексах хаотически движущихся газовых облаков. Так как направления движения излучающих масс газа неодинаковы, то различны и их скорости вдоль луча зрения. Поэтому-то из ряда эмиссионных линий, по-разному смещенных эффектом Доплера, должна получиться широкая эмиссионная линия с «пичками». По измерениям ширины линий нашли, что скорости движения газовых масс составляют от 500 до 3000 км/сек.

Одной из наиболее известных сейфертовских галактик (всего их обнаружено около десяти) является спиральная галактика NGC 1068 (NGC — обозначение каталога туманностей, 1068 — номер в этом каталоге). Расстояние до этой галактики около 40 миллионов световых лет. Ядро такой галактики нельзя различить на репродукции фотографии — оно видно лишь на оригинальном негативе, как яркая звезда в ее центре; размер ядра порядка 100 световых лет или менее. В центре снимка видна яркая область — это светящиеся газы, окружающие ядро. Они также дают спектр, состоящий из эмиссионных линий. Но в то время как линии в спектре самого ядра, которые были описаны выше, широки, окружающий ядро газ дает гораздо более узкие линии. Следовательно, быстро движущиеся массы газа сосредоточены в самом ядре галактики.

Свойства газа в ядрах сейфертовских галактик — химический состав, плотность и температура — неоднократно определялись по линейчатому спектру его излучения. В результате, например, для NGC 1068 было установлено, что газ состоит в основном из водорода, концентрация которого в среднем порядка 10^3 атомов в 1 см^3 , температура газа около $20\,000^\circ$. Газовые комплексы (облака), по-видимому, распределены по ядру галактики крайне неравномерно и их общий объем равен $10^{60}\text{--}10^{61}\text{ см}^3$. Масса газа в ядре в среднем около миллиона M_\odot (у других галактик этого вида может достигать даже $10^7 M_\odot$), а кинетическая энергия его порядка $10^{55}\text{--}10^{56}$ эрг. Выше мы получили такое же значение для энергии взрыва в ядре галактики M 82. Возможно, что бурные движения в ядрах сейфер-

товских галактик также созданы каким-то взрывным процессом. Во всяком случае, другие объяснения подобной активности ядер, например, термоядерными реакциями, встречаются с серьезными трудностями.

Газовые облака при своем беспорядочном движении все время сталкиваются друг с другом. Вследствие огромных скоростей движения эти столкновения приводят к разогреву газа — некоторая часть кинетической энергии облаков переходит в тепло. Наблюдаемый линейчатый спектр ядра сейфертовской галактики и представляет собой спектр излучения разогретого газа. В частотах линий ядром излучается около 10^{42} — 10^{43} эрг/сек. Если бы вся кинетическая энергия облаков переходила в излучение, то и в этом случае ее хватило бы на 10^{13} сек, т. е. на несколько сотен тысяч лет. Но практически далеко не вся кинетическая энергия может превратиться в наблюдаемое излучение, поэтому кинетическая энергия не в состоянии поддерживать свечение ядра даже в течение такого срока. С другой стороны, мы знаем, что взрыв в ядре любой из сейфертовских галактик не мог произойти ранее, чем несколько миллионов лет назад. Ведь газу, летящему из области взрыва со скоростью порядка 1000 км/сек, требуются миллионы лет, чтобы пройти расстояние, равное радиусу области свечения — 10^{21} — 10^{22} см. Поэтому приходится считать, что либо существуют какие-то пути поддержания движения газа («подкачка» в него энергии), либо кинетическая энергия газа раньше была большей, чем сейчас. Но тогда энергия взрыва должна существенно превышать указанное значение 10^{55} — 10^{56} эрг.

В сейфертовских галактиках содержится вблизи центра не только газ, но и звезды. Они-то и создают в наблюдаемом спектре линии поглощения, характерные для звезд. Линии возникают в спектрах отдельных звезд, а в суммарном спектре они наблюдаются потому, что все звезды данного класса имеют недостаток излучения в частотах линий. Наблюдаемое излучение ядра сейфертовской галактики в непрерывном спектре создается звездами и оно в 5—10 раз сильнее общего излучения в эмиссионных линиях. Однако поскольку излучение в эмиссионных линиях распределяется на небольшое число сравнительно узких участков спектра, в каждом из этих участков поток излучения достаточно велик для того, чтобы линия была хорошо заметной на фоне непрерывного спектра.

Ядра некоторых из сейфертовских галактик, в частности, упомянутой выше галактики NGC 1068, испускают довольно сильное радиоизлучение синхротронного происхождения. По-видимому, активность этих ядер проявляется не только в бурных движениях газа, но и в образовании релятивистских частиц. Общая энергия релятивистских частиц в ядре NGC 1068 того же порядка, что и кинетическая энергия газа, или немного меньше.

Подведем теперь итог сказанному в этом параграфе. Оказывается, существуют различные виды звездных систем — галактик, характерных особенной активностью своих ядер. Эта активность выражается либо в сильном радиоизлучении, идущем из области ядра, либо в выбрасывании газа из ядра, либо, наконец, в хаотическом движении газовых масс вблизи ядра. Во всех случаях эти особенности можно "приписать" взрыву в ядре галактики, произошедшему сотни тысяч или миллионы лет назад. Взрыв вызвал освобождение огромной энергии — не менее 10^{56} — 10^{57} эрг, в различных ее формах.

Разумеется, случаи, когда наблюдается значительная активность в ядрах галактик, не ограничиваются рассмотренными выше примерами. Нет также сомнений в том, что с расширением исследований внегалактических объектов должны обнаруживаться все новые свидетельства активности ядер галактик. При оценке возможности наблюдений взрывов в ядрах галактик нужно иметь в виду, что взрывной процесс в них не может повторяться часто, а действие каждого взрыва продолжается малое по сравнению с возрастом галактики время. В остальное время активность ядер может быть низкой и обнаруживаться поэтому только у самых близких галактик.

Заметны признаки активности в ядре и нашей звездной системы — Галактики. Ранее нами отмечалась недоступность центральных областей Галактики для изучения оптическими средствами. Некоторые сведения о строении ядра Галактики удалось получить радиометодами благодаря тому, что радиоизлучение сравнительно мало задерживается межзвездной средой. В центре Галактики находятся два очень сильных источника радиоизлучения, каждый из которых имеет поперечник порядка десяти световых лет. Спектр этого излучения указывает на его синхротронную природу. Таким образом, по характеру излучения ядро нашей Галактики сходно с ядрами других галактик.

Из центральных областей Галактики происходит истечение газа со скоростью около 100 км/сек. За один год ядро выбрасывает массу газа порядка солнечной. Исходя из этого, можно предположить, что концентрация газа в ядре Галактики по сравнению с остальной ее частью очень велика: ведь при своих малых размерах ядро должно содержать массу в миллионы масс Солнца.

Рассмотрение возможной природы ядер и их роли в эволюции галактик мы отложим до десятого параграфа. Здесь же стоит коротко рассмотреть вопрос о том, в состоянии ли известные источники энергии обеспечить ее освобождение в количестве 10^{56} — 10^{57} эрг за короткое время.

От предположения, объясняющего освобождение энергии в радиогалактиках и других галактиках с взрывающимися ядрами столкновениями между ними, безусловно, нужно отказаться, так как активность очень часто проявляется в ядрах одиночных галактик. Причину взрывов нужно искать в самой природе ядер галактик.

Не решает проблемы и гипотеза о превращении потенциальной энергии в другие ее виды при сжатии звездной системы, поскольку в случае галактик из-за их огромных размеров такое превращение не может иметь катастрофического характера. Кроме того, теперь достаточно хорошо известно, что взрывы локализованы именно в очень малых объемах, занимаемых ядрами галактик.

Большие трудности возникают и при объяснении взрывов в ядрах галактик термоядерными реакциями. Принимая этот механизм освобождения энергии, нужно считать, что в малом объеме ядра содержится большое число звезд, быстро превращающихся в сверхновые — в среднем должно вспыхивать по одной звезде в год. Причины столь частых вспышек непонятны, не говоря о том, что наблюдения не указывают на большую концентрацию звезд в ядрах галактик. Кроме того, подобный механизм ничего не дает для понимания природы односторонних выбросов из ядра, таких, например, как у галактики M 87.

Таким образом, открытие взрывов в ядрах галактик поставило науку перед необходимостью совершенно нового подхода к проблеме преобразования энергии и вещества. До изложения существующих взглядов на эту проблему мы займемся еще одним типом объектов — сверхзвездами. По масштабу освобождения энергии они в сотни и тысячи

раз превосходят даже взрывы в ядрах галактик. Поэтому, хотя и неизвестно, имеем ли мы при изучении сверхзвезд дело со взрывными процессами, их исследование представляется весьма существенным для понимания природы космических взрывов.

§ 9. СВЕРХЗВЕЗДЫ

Открытие и исследование сверхзвезд стало возможным благодаря непрерывному совершенствованию с конца сороковых годов техники радиоастрономических наблюдений. При помощи больших телескопов удалось довольно точно определить положение многих источников радиоизлучения на небе. Большинство источников, находящихся вне нашей Галактики, представляет собой радиогалактики; с некоторыми из них мы уже познакомились. Радиогалактики (даже те, которые пока не отождествлены с оптическими объектами) являются протяженными образованиями с вполне измеримыми диаметрами.

В 1963 г. было обнаружено пять интенсивных дискретных источников радиоизлучения, которые нельзя было отнести к радиогалактикам, так как их угловые размеры оказались очень малыми по сравнению с размерами галактик. Поскольку в этом отношении они напоминают звезды, их назвали «квазизвездными» (подобными звездам) радиоисточниками — сокращенно «квазарами». В нашей литературе употребляют также название сверхзвезды. В настоящее время (1966 г.) уже известно около полусотни сверхзвезд. Их обозначают теми номерами, под которыми они вошли в каталог дискретных радиоисточников, например, ЗС 273 — это источник с номером 273 в Третьем кембриджском каталоге.

При помощи пятиметрового телескопа удалось не только надежно отождествить некоторые сверхзвезды с источниками оптического излучения, но и получить их оптический спектр. Сверхзвезды представляются слабыми звездочками, окруженными еле заметными на фотопластинках туманностями. В спектрах сверхзвезд присутствуют широкие эмиссионные линии. Эти линии принадлежат атомам водорода, кислорода, магния и других обычно содержащихся в туманностях элементов, но все они очень сильно смещены в сторону длинных волн. Отношение смещения линии $\Delta\lambda_0$