

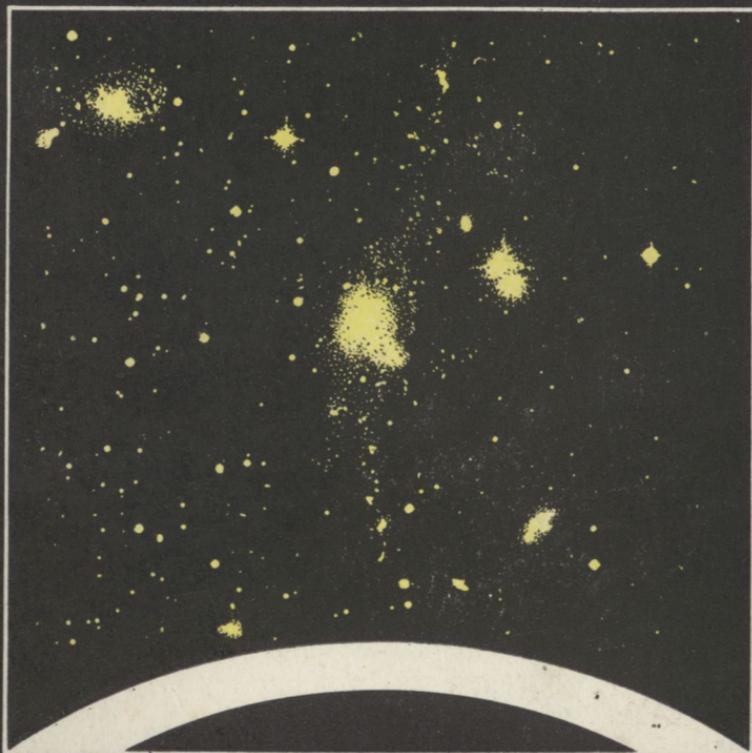
КОСМОНАВТИКА, АСТРОНОМИЯ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ



1984/8

А.В.Засов
КАРЛИКОВЫЕ
ГАЛАКТИКИ



ЗНАНИЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

**КОСМОНАВТИКА,
АСТРОНОМИЯ**

8/1984

Издается ежемесячно с 1971 г.

А. В. Засов,

доцент, кандидат физико-математических наук

**КАРЛИКОВЫЕ
ГАЛАКТИКИ**

в приложении этого номера:

НОВОСТИ АСТРОНОМИИ

ББК 22.66
З-36

СОДЕРЖАНИЕ

Немного о галактиках	3
Что такое карликовые галактики	8
Карликовые галактики из «знакомых» звезд	11
Призрачные галактики	20
Самые не похожие друг на друга карлики	29
Молодые или «молодящиеся» галактики?	41
Вопросы остаются...	47
Рекомендуемая литература	58
НОВОСТИ АСТРОНОМИИ	59

Засов А. В.

З-36 Карликовые галактики. — М.: Знание, 1984. — 64 с., ил. — (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Космонавтика, астрономия»; № 8).

11 к.

В брошюре рассказывается о неприметных, порою призрачных, карликовых галактиках, многие из которых были обнаружены лишь совсем недавно. Но, как оказалось, они составляют большинство в мире галактик и, к тому же, их немало среди наиболее близких к нам звездных систем. Все это привлекает к ним внимание астрономов, а их изучение производится с помощью крупнейших астрономических инструментов.

Брошюра рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся современными проблемами астрономии.

2704010000

ББК 22.66
527

Сомнений полон ваш ответ
О том, что окрест ближних мест,
Скажите ж, коль пространен свет?
И что малейших дале свет?

М. В. Ломоносов

НЕМНОГО О ГАЛАКТИКАХ

Мы живем внутри гигантской спиральной Галактики — это ее звезды украшают наше ночное небо. Глаз видит лишь наиболее яркие из них, однако фотографии любых участков неба, сделанные с помощью телескопов, буквально усыпаны многими тысячами крошечных точек-изображений слабых звезд. Это тоже объекты нашей Галактики, но на звездном фоне встречаются и образования другого рода: размытые светлые пятнышки самых различных размеров. Большинство из них — другие звездные системы, другие галактики, удаленные от нас на многие миллионы парсек. Даже ближайšie из них, имеющие большой угловой размер и представляющие на фотографиях во всей своей красе, находятся на таком расстоянии, для преодоления которого лучу света требуются сотни тысяч миллионов лет.

Изучение галактик открыло новые, удивительные страницы астрономии. За несколько десятилетий своего существования внегалактическая астрономия превратилась в быстро развивающуюся, довольно разветвленную научную дисциплину. И как отметил английский астрофизик Р. Тейлер, «проблема строения и эволюции галактик поистине является центральной в современной астрономии». В этих словах нет большого преувеличения, хотя их нельзя понимать так, что все остальное в астрономии менее интересно. Просто с исследованием галактик оказались связанными самые узловые проблемы этой науки, такие, как проблема образования и эволюции звезд и межзвездной среды, или вопрос о том, как меняется за большие промежутки времени вся окружающая нас Вселенная.

Галактики не обижены вниманием со стороны науч-

но-популярной литературы¹. Однако в этой брошюре будет рассказано о галактиках особого типа, о которых пока говорилось и писалось очень мало, — о так называемых карликовых галактиках. Над выяснением их природы в последнее время работают многие ученые. Но перед тем как перейти к этим объектам, кратко напомним, что представляют собой сами галактики.

Прежде всего отметим, что большинство наблюдаемых галактик имеют размеры во много тысяч парсек и состоят из миллиардов звезд, непрерывно движущихся в разреженной газопылевой среде. Скорости движения звезд относительно друг друга измеряются десятками или сотнями километров в секунду, и только взаимное притяжение удерживает их вместе, тем самым не давая галактикам рассыпаться. Точно так же притяжение Солнца не дает планетам разлететься в разные стороны, однако есть важное различие: в галактиках отсутствует центральное тело, играющее роль Солнца, — общее гравитационное поле галактик создается миллиардами отдельных звезд.

В большинстве галактик звезды образуют сплюснутый и довольно толстый вращающийся диск. Имеется он и в нашей Галактике (светлая полоса Млечного Пути и есть этот звездный диск, наблюдаемый нами изнутри). К плоскости симметрии диска оседает газопылевая среда, в которой рождаются звезды. Области звездообразования выглядят со стороны либо как яркие пятна на диске, либо в виде спирального узора. В первом случае галактику относят к типу неправильных, во втором — к спиральным галактикам.

Однако в любой галактике далеко не все звезды находятся в диске, движение многих из них происходит под большим углом к нему. Немало галактик, они называются эллиптическими, вообще не имеют диска. За очень редким исключением, в них не наблюдается ни газа, ни областей звездообразования. В этих медленно стареющих звездных системах процесс зарождения звезд потух миллиарды лет назад.

¹ В частности, в последние годы им был посвящен ряд брошюр серии «Космонавтика, астрономия». См., например: Засов А. В. Галактики, 1976; Озерной Л. М. Происхождение и жизнь Галактик, 1978; Дибай Э. А. Нестационарные явления в ядрах галактик, 1980; Комберг Б. В. Квазары — свидетели рождения галактик, 1981; Метлов В. Г. Взаимодействующие галактики, 1983; Псковский Ю. П. Соседи нашей Галактики, 1983.

Мир галактик удивительно разнообразен. При попытке описать типичную галактику мы столкнулись бы с немалыми трудностями: линейный размер, светимость, масса, относительное содержание газа, химический состав и, наконец, их внешний вид очень сильно меняются от одного объекта к другому. Особенно впечатляет разница в массе, являющейся, как и в случае звезд, одной из важнейших характеристик галактик. Но если у звезд массы различаются в крайнем случае в несколько сотен раз, то у галактик — более чем в миллион раз. Самые большие и самые маленькие галактики отличаются по массе примерно так же, как звезды от планет.

Какую же массу следует считать типичной для галактик?

Если прикинуть, чему равна средняя масса наблюдаемых галактик, мы получим что-нибудь около $10^{11} M_{\odot}$ (здесь M_{\odot} — масса Солнца). Но для галактик в целом (а не только для тех, которые хорошо исследованы) эта цифра окажется завышенной во много раз. Чем меньше масса галактик, тем чаще они встречаются в пространстве и тем труднее их наблюдать с большого расстояния. На одну большую, «нормальную» галактику, примерно такую, в которой мы живем, приходится десятки карликовых звездных островков. Ясно, что понятия «нормальная» или «необычно маленькая» для галактик могут иметь лишь условный смысл. Галактики, которые обычно считаются типичными по массе, размеру или светимости, в действительности находятся в абсолютном меньшинстве.

Конечно, это никак не умаляет важность их изучения, но все же стоит отметить, что карликовым галактикам далеко не всегда уделялось столько внимания, сколько они заслуживают. Основная причина этого понятна: маленькие галактики, обладающие невысокой светимостью, а часто и поверхностной яркостью, видны лишь на сравнительно близких расстояниях и очень трудны для исследований.

Карликовыми называют галактики низкой светимости. И если не учитывать двух эллиптических спутников ближайшей к нам спиральной галактики — Туманности Андромеды, — которые по светимости лежат где-то на границе между карликовыми и «нормальными» галактиками, первые бесспорно карликовые системы были обнаружены только в конце 30-х годов нашего века. Как

это нередко бывает, открытие было сделано случайно.

Это произошло на обсерватории Гарвадского университета в Южной Африке. Здесь в течение ряда лет под руководством известного астронома Х. Шепли выполнялась научная программа по фотографированию и статистическому исследованию распределения слабых галактик в области Южного полюса мира. В 1935 г. при фотографировании одного из участков неба в созвездии Скульптора при помощи 60-сантиметрового рефлектора была получена историческая фотопластинка, на которой зоркий глаз Х. Шепли усмотрел нечто необычное. При внимательном изучении негатива на довольно большой области (около $1 \times 1^\circ$) была различима россыпь из множества предельно слабых точек, похожих на изображение едва заметных звезд.

Чтобы убедиться в том, что это действительно звезды, а не какая-нибудь редкая разновидность дефектов фотоэмульсии, пришлось повторить снимки того же участка неба. На обычное звездное скопление наблюдаемая картина не была похожа: угловой размер большой, а ярких звезд совсем нет. Ярчайшие звезды этого объекта имеют звездную величину примерно 18^m , а более слабых звезд (в интервале $18-19,5^m$) можно было насчитать около 10 000. Подобные скопления звезд ранее не встречались, да вообще — будь инструмент чуть поменьше или качество изображения (меняющееся от ночи к ночи) чуть похуже, и скопление осталось бы совершенно незамеченным.

Весьма любопытно первое сообщение в печати о странном скоплении. В статье Х. Шепли «Распределение 89 тысяч галактик в южной полярной области» была приведена таблица с результатами подсчета галактик на исследовавшихся фотопластинках. В строчке, отведенной для описания фотопластинки с этим скоплением, отмечено полное число зарегистрированных галактик (1772 объекта), и к ней было сделано примечание. А в нем указывалось, что 1 кв. градус неба был исключен из рассмотрения, так как там замечено неизвестное ранее звездное скопление, мешающее счету галактик (оно оказалось помехой при выполнении основной задачи!).

Просмотрев другие пластинки, снятые в обсерватории, Х. Шепли обнаружил (но уже в созвездии Печь) еще одно подобное скопление, состоящее из очень слабых звезд. Очень скоро оба скопления были сфотогра-

фированы на самом большом в то время 2,5-метровом рефлекторе обсерватории Маунт Паломар. В них удалось найти переменные звезды, что позволило оценить расстояние и размеры звездных систем. Тогда-то и стало окончательно ясно, что это не простые звездные скопления, а объекты куда более далекие: самостоятельные галактики необычно низкой поверхностной яркости и звездной плотности.

Долгие годы подобных галактик найти больше не удавалось. Новые открытия пришли с появлением в распоряжении астрономов фотографий Паломарского обзора неба, сделанных в 50-х годах с помощью широкоугольной 120-сантиметровой камеры Шмидта обсерватории Маунт Паломар. Тщательное их изучение значительно облегчило поиски необычных галактик (и не только карликовых!). Впоследствии выяснилось, что существуют различные типы карликовых галактик, в том числе совсем не похожие на системы, найденные в созвездиях Скульптора и Печи. Но до последних лет исследование карликовых галактик шло очень медленными темпами.

Ситуация резко изменилась в 70-х годах, что было обусловлено в основном двумя причинами. Во-первых, появившиеся новые крупные астрономические инструменты позволили изучать большое число недоступных ранее карликовых галактик, а это во многих случаях привело к выявлению их необычных свойств, которые необходимо было объяснить. Во-вторых, исследование процессов, происходящих в галактиках различных типов, показало, что наблюдения карликовых галактик могут послужить своего рода пробным камнем для проверки правильности существующих представлений о том, как образовались галактики, как они эволюционируют и как взаимодействуют со своим окружением.

Есть еще одно обстоятельство, стимулирующее изучение карликовых систем. Во внегалактической астрономии особое значение имеет исследование наиболее близких к нам галактик, которые можно провести особенно детально, что невозможно сделать в случае многочисленных, но более далеких звездных островов. Однако среди ближайших галактик, входящих вместе с нашей Галактикой в состав так называемой Местной группы², нет ни одной большой эллиптической галактики (все

² См. об этом в брошюре: Псковский Ю. П. Соседи нашей Галактики. М., Знание, 1983.

три большие галактики — спиральные, включая нашу собственную), но зато есть несколько десятков карликовых эллиптических галактик.

С увеличением возможностей астрономических наблюдений интерес к галактикам-карликам, несомненно, будет возрастать. Примечательно, что в 1980 г. в Женеве впервые была организована международная конференция по карликовым галактикам. Эти галактики обсуждались прежде всего как объекты, исследования которых целесообразно запланировать на большом орбитальном телескопе, который планируется запустить в космос в конце 80-х годов.

Познакомимся с карликовыми галактиками поближе.

...Но для бездн, где летят метеоры,
Ни большого, ни малого нет,
И равно беспредельны просторы
Для микробов, людей и планет.

Н. Заболоцкий

ЧТО ТАКОЕ КАРЛИКОВЫЕ ГАЛАКТИКИ

При любом определении, которое можно дать карликовым галактикам, граница, отделяющая их от «нормальных», т. е. некарликовых, в значительной степени условна. Удобнее всего было бы отнести к карликам те галактики, масса которых не превышает некоторой выбранной величины. Но, к сожалению, на практике пользоваться таким определением очень трудно. Измерение массы каждой отдельно взятой галактики — это довольно сложная и трудоемкая процедура, к тому же часто приводящая к весьма ненадежным результатам. Оценки массы получены лишь для небольшой части наблюдаемых галактик.

Несравненно легче и точнее измеряется светимость галактики, или мощность ее оптического излучения. При этом наблюдения показали, что масса галактик (в том числе карликовых) в первом приближении пропорциональна светимости. Поэтому галактики относят к карликовым по их низкой светимости, считая, что масса, которой они обладают, в этом случае также мала. Для измерения светимости астрономы используют одну из двух единиц: светимость Солнца (обозначается L_{\odot}) и абсолютную звездную величину M (чем больше M , тем ниже светимость объекта).

Чаще всего к карликовым относят такие галактики, абсолютная звездная величина которых составляет не менее -16^m . Соответствующее ей значение светимости не превышает $4 \cdot 10^8 L_{\odot}$, что примерно в 100 раз меньше светимости таких галактик, как наша или Туманность Андромеды. Именно поэтому карликовые галактики очень трудно наблюдать с больших расстояний. Если ближайшая спиральная галактика видна на небе даже невооруженным глазом (Туманность Андромеды), то карликовые галактики с ее расстояния будут выглядеть объектами слабее 9^m , а на расстоянии самого близкого к нам большого скопления галактик (в созвездии Девы) они окажутся доступными только для самых крупных телескопов.

Немалую проблему представляет собой и определение расстояний до карликовых галактик, если в них не видны звезды знакомых типов. Расстояние в этом случае обычно оценивается по лучевой скорости, которая измеряется по положению спектральных линий. Но для сравнительно близких галактик соотношение между скоростью и расстоянием (так называемая зависимость Хаббла) часто нарушается: к тому же у далеких карликовых галактик очень трудно получить спектр из-за их низкой светимости. Неудивительно, что о расстоянии до многих галактик-карликов судят лишь по косвенным признакам (например, по их концентрации к группам или скоплениям, которые образуют «нормальные» галактики).

Есть еще одно важное обстоятельство, которое делает исследование карликовых галактик очень трудной и одновременно интересной проблемой. Оно связано с поверхностной яркостью этих галактик, т. е. со светимостью, приходящейся на единицу площади видимой поверхности источника. Известно, что поверхностная яркость светящихся объектов не зависит от расстояния до них: чем больше расстояние, тем меньше света попадает в телескоп в единицу времени, но во столько же раз уменьшается и угловая площадь источника, в пределах которого сконцентрировано излучение³. Поэтому, даже

³ Очень слабое уменьшение яркости с расстоянием имеет место лишь для наиболее далеких галактик. Оно вызвано тем, что видимое излучение галактик ослабляется из-за сильного красного смещения спектра, которое связано с расширением Вселенной. Для интересующих нас галактик этот эффект пренебрежимо мал.

не зная расстояний до галактик, мы можем сравнивать их по яркости.

Яркость «нормальных» галактик имеет тот же порядок величины, что яркость ясного ночного неба⁴. Это означает, что если выделить на ночном небе область такого же углового размера, как и размер какой-нибудь галактики, то от этих двух источников будет приходиться примерно одинаковое количество света. Правда, галактики — это не однородные источники света, к краю их яркость всегда ослабевает, но центральные области, как правило, ненамного отличаются по яркости друг от друга. Например, яркость в центре дисков больших спиральных галактик редко отличается от среднего значения (около $21,5^m$ с площади 1 кв. угловой секунды) более чем на 1^m , т. е. в 2—3 раза.

Однако при переходе к карликовым галактикам мы наблюдаем совершенно иную картину: по своей поверхностной яркости они подчас отличаются друг от друга более чем на 10^m (т. е. в десятки тысяч раз). Причина этого до сих пор не ясна. По-видимому, условия образования карликовых галактик были куда более разнообразными, чем галактик «нормальных» светимостей. У некоторых галактик-карликов поверхностная яркость настолько велика, что даже на фотографиях, полученных с помощью больших телескопов, их изображение с трудом отличается от изображений звезд (и кто знает, сколько таких объектов до сих пор маскируются под обычные звезды!). Только анализ спектра позволяет быстро распознать далекую галактику малого углового размера и высокой поверхностной яркости.

Как мы уже знаем, встречается и другая крайность — карликовые галактики невероятно низкой поверхностной яркости, которая в некоторых случаях в 100 раз меньше яркости темного ночного неба. Эти действительно призрачные, едва различимые на фоне неба галактики находятся на пределе возможностей наблюдений. Среди галактик высокой светимости объектов столь низкой поверхностной яркости не известно.

Итак, по разнообразию своих свойств карликовые галактики не только не уступают, но и превосходят в

⁴ В том, что даже в темную безлунную ночь небо не абсолютно черное, легко убедиться, обратив внимание на то, как заметны на его фоне силуэты близких предметов большого углового размера (например, рядом расположенных зданий).

этом галактики «нормальной» светимости. Четкой и физически обоснованной классификации карликовых галактик пока не создано. Часто их можно найти в каталогах или списках среди других галактик, отобранных по какому-либо наблюдаемым признакам. Например, немало их в каталоге Цвикки (галактики высокой поверхностной яркости), среди галактик Маркаряна (галактики повышенной светимости в ультрафиолетовой области спектра) и даже в атласе взаимодействующих галактик Воронцова-Вельяминова.

Известные карликовые галактики можно разделить (в значительной степени условно) на четыре группы: карликовые эллиптические галактики⁵ dE, карликовые сфероидальные галактики низкой яркости dSph, карликовые неправильные галактики dIm (или, точнее, — карликовые неправильные, похожие на Магеллановы Облака) и наконец карликовые голубые компактные галактики dBC. А вот спиральных галактик среди карликов почти не встречается: по-видимому, для образования спиральных ветвей галактика должна обладать достаточно большой массой.

После этого краткого знакомства с тем, какие бывают галактики-карлики, посмотрим, как объясняются их свойства в каждой из названных групп.

В который раз томит меня мечта,
Что где-то там, в другом углу вселенной,
Такой же сад, и та же темнота,
И те же звезды в красоте нетленной.

Н. Заболоцкий

КАРЛИКОВЫЕ ГАЛАКТИКИ ИЗ «ЗНАКОМЫХ» ЗВЕЗД

Исследование природы астрономических (да и не только астрономических) объектов того или иного типа обычно проходит через несколько стадий. Сначала отсутствует ясное понимание, имеется букет самых различных взаимоисключающих предположений. Затем выкристаллизовывается некоторая общепринятая точка зрения, позволяющая по крайней мере качественно объяснить наблюдаемую картину в ее основных деталях. Исследуемые объекты перестают быть непонятными, от

⁵ Буква «d» в названиях типов карликовых галактик происходит от английского dwarf (карлик).

них протягиваются ниточки связи к ранее известным объектам или явлениям.

И вот через некоторое время наступает третья стадия. Новые наблюдения или теоретические расчеты показывают, что все не так просто, как казалось. Хотя старые объяснения в своей основе могут остаться, объекты исследования опять озадачивают своим нежеланием укладываться в простые и ясные схемы. Нужны новые идеи, новые расчеты. Наконец, на следующей, четвертой стадии вновь возникает непротиворечивая и уже более сложная, чем раньше, картина. Понимание поднялось на новый, более высокий уровень. В дальнейшем все может вновь повториться — при появлении неожиданных наблюдательных фактов и при ином теоретическом подходе.

Исследование карликовых эллиптических галактик (dE-галактик), о которых пойдет речь в этом разделе, проходит сейчас вторую стадию. Из всех карликовых галактик это наиболее понятные для нас объекты. Они не представляют какой-либо группы, резко выделяющейся по своим особенностям, а их свойства «продолжают» свойства обычных эллиптических галактик, экстраполируясь в область низких светимостей и размеров.

Самые близкие к нам dE-галактики — четыре эллиптических спутника Туманности Андромеды. Два из них, галактики M 32 и NGC 205, наблюдаются совсем рядом с гигантской спиральной галактикой, а два более слабых, NGC 185 и NGC 147, расположены на несколько угловых градусов к северу от нее. Два первых выглядят светлыми пятнами на любой фотографии Туманности Андромеды, проецируясь на ее внешние области; галактика M 32 — это компактное, почти круглое образование, а галактика NGC 205 на фотографии имеет более размытое, заметно вытянутое изображение. Их абсолютная звездная величина близка к -16^m , поэтому эти галактики находятся на той условной границе, которая отделяет карлики от «нормальных» галактик.

Запечатлеть отдельные звезды на фотографиях этих карликовых галактик, т. е., как говорят астрономы, разрешить галактики на звезды, ценой больших усилий удалось в 40-х годах В. Бааде, работавшему на самом крупном в то время телескопе в мире — 2,5-метровом рефлекторе Маунт Паломар. Надо сказать, что и в настоящее время даже с помощью лучших телескопов раз-

решить спутники Туманности Андромеды на звезды является не простой задачей.

Долгое время звездный состав этих маленьких галактик, как, впрочем, и центральной области самой Туманности Андромеды, оставался загадочным: на фотографиях не было заметно присутствия ярчайших звезд — голубых сверхгигантов, хотя эти звезды уверенно наблюдаются в спиральных ветвях рядом расположенной Туманности Андромеды.

Поставив перед собой задачу разрешить на звезды центральную часть Туманности Андромеды и ее эллиптические спутники, В. Бааде начал со всей серьезностью готовиться к ее осуществлению. Эти объекты, как было известно, имеют красноватый цвет, и он предположил (и не ошибся), что это и есть цвет самых ярких звезд, которые в них содержатся. Поэтому В. Бааде отказался от пластинок, реагирующих на синие лучи, обычно используемых в астрономической фотографии, и выбрал наиболее чувствительные из доступных в то время фотопластинок, воспринимающих оранжевый и красный цвета. Однако эти пластинки обладали значительно более низкой чувствительностью, чем «синие», и для ее повышения приходилось, прежде чем использовать пластинки, специально обрабатывать их аммиаком.

Но и после этого чувствительность оказывалась не слишком высокой, и чтобы была хоть какая-то надежда запечатлеть на них звезды, недоступные для «синих» пластинок, необходимо было рассчитывать на многочасовые экспозиции. Дело в том, что на высокочувствительных «синих» пластинках многочасовые экспозиции делать нельзя: уже через 1,5 ч слабое свечение ночного неба затягивало их плотной вуалью. По расчетам В. Бааде, такой подход должен был позволить получить на «красных» пластинках звезды на 0,5^m (в 1,6 раза) более слабые, чем на «синих».

Как еще можно поднять проникающую способность телескопа, т. е. его способность регистрировать слабые звезды?

Люди, знакомые со спецификой астрономических наблюдений, хорошо знают, что возможности телескопа как оптического инструмента сильно меняются от ночи к ночи, даже если те одинаково ясные, а иногда и в течение одной ночи. Это связано с различным состоянием атмосферы, а для больших телескопов — еще и с состо-

янием зеркального объектива, отражающая поверхность которого подвержена температурным деформациям из-за различия температуры как между разными частями зеркала, так и между зеркалом и воздушной средой. И лишь в последнее время научились делать большие зеркала из вещества, практически не подвергающегося тепловому расширению.

Впоследствии В. Бааде писал по этому поводу: «Нельзя было надеяться достичь успеха, если просто вставить «красную» пластинку в кассету 2,5-метрового телескопа, сделать экспозицию, проявить и пытаться что-то разглядеть. Было совершенно ясно, что звезды будут очень слабы и по всей вероятности чрезвычайно тесно расположены. Это на пределе разрешающей способности 2,5-метрового телескопа, и, очевидно, следовало бы быть очень осторожным и не пренебрегать ни малейшим шансом.

Чтобы сохранить разрешающую способность как можно более высокой, надо было, во-первых, проводить наблюдения лишь при получении самых хороших изображений, когда турбулентный диск звезд очень мал. Во-вторых, стоило наблюдать лишь в те ночи, когда форма зеркала была близка к идеальной, без «завала» краев, который всегда ведет к увеличению диска звезды. В-третьих (и это было главной проблемой), следовало что-то предпринять при изменениях фокуса, возникавших вследствие того, что зеркало 2,5-метрового телескопа изготовлено из стекла старой марки. Даже когда ночи в этом смысле были удовлетворительными, происходили изменения фокусного расстояния от 1,5 до 2 мм, а случались и такие ночи, когда эти изменения достигали 5—6 мм».

В. Бааде в результате пришлось изобрести свой способ, как непрерывно проверять правильность фокусировки изображения, который позволял не прерывать многочасовую экспозицию.

Больше года длилась подготовка к решающим наблюдениям. Наконец, осенью 1943 г. в течение нескольких ночей с исключительно хорошим качеством изображения были получены долгожданные негативы, на которых спутники Туманности Андромеды (как и ее центральная часть, состоящая из похожих звезд) оказались усыпанными мельчайшими точками звезд. Так с расстояния почти в 700 тыс. пк выглядели ярчайшие звезды

карликовых эллиптических галактик. Следует сказать, что успеху их обнаружения способствовало одно немаловажное обстоятельство. Над обсерваторией стояли действительно темные ночи, поскольку еще не было отменено связанное с войной затемнение гигантского города Лос-Анджелеса с его оживленными пригородами, расположенными поблизости.

К этому моменту астрономам были хорошо знакомы самые разнообразные типы звезд, но звезды, сфотографированные В. Бааде, озадачили ученого. Для обычных красных звезд они имели слишком высокую светимость. Казалось странным, что в обозреваемой звездной окрестности Солнца таких звезд почти нет, а в карликовых эллиптических галактиках они дают основной вклад в излучение галактики.

Лишь через некоторое время В. Бааде осенила догадка: точно из таких же звезд состоят шаровые скопления нашей Галактики. Эти скопления представляют собой довольно далекие объединения сотен тысяч звезд (ближайшее из них удалено от нас на расстояние несколько тысяч световых лет). Их возраст превышает 10 млрд. лет, т. е. они являются настоящими реликтами звездного мира.

Дальнейшие исследования подтвердили догадку В. Бааде. Ярчайшие звезды карликовых эллиптических галактик, как и шаровых скоплений, оказались красными гигантами высокой светимости — сильно раздувшимися и изменившими свою внутреннюю структуру звездами, поскольку за долгую их жизнь основное ядерное топливо (водород) в значительной степени уж исчерпалось в звездных недрах. Характерной особенностью звезд карликовых галактик является и низкое содержание тяжелых химических элементов в звездной атмосфере (хотя и не такое низкое, как в шаровых скоплениях). Забегая вперед, отметим, что этот так называемый дефицит тяжелых элементов характерен для карликовых галактик всех типов.

«Нормальные» эллиптические галактики, не относящиеся по своей светимости к карликовым, также состоят из старых звезд, правда, не столь сильно обедненных тяжелыми элементами, как в карликовых галактиках. По-видимому, звездообразование в «нормальных» E-галактиках практически закончилось еще многие миллиарды лет назад. История dE-галактик, как оказалось,

может быть иной. Это хорошо видно на примере все тех же спутников Туманности Андромеды.

Так, например, характер спектра спутника Туманности Андромеды M 32 можно объяснить, предположив, что, хотя сейчас звездообразование в галактике, по-видимому, не происходит, оно существовало там несколько миллиардов лет назад.

В двух других спутниках Туманности Андромеды NGC 205 и NGC 185, непосредственно наблюдается несколько десятков голубых звезд высокой светимости, спрятавшихся среди россыпи старых красных звезд. По астрономическим масштабам времени такие звезды только что образовались, так как большой расход энергии делает их короткоживущими. Их возраст вряд ли превышает 100 млн. лет, что для звезд очень мало. Солнце, например, существует в 50 раз дольше. Следовательно, в этих галактиках еще продолжается звездообразование.

Конечно, вместе с горячими звездами высокой светимости там могут (в значительно большем количестве) образовываться и маломассивные звезды, но их невозможно отыскать среди более ярких, но старых звезд галактики. Поэтому очаги звездообразования определяют лишь по положению голубых звезд, которые обычно локализованы в небольших участках галактики. Например, в галактике NGC 185 все голубые звезды занимают область размером менее 300 пк (размер всей галактики в десятки раз больше).

Проблема существования небольшого количества молодых звезд в некоторых dE-галактиках представляет значительный интерес. Ведь в массивных эллиптических галактиках отсутствие звездообразования обычно связывают с отсутствием межзвездного газа, т. е. той среды, которая может породить звезды при своем сильном сжатии и охлаждении. Во всех случаях присутствие молодых голубых звезд заметно только в тех галактиках, где наблюдается межзвездная среда. Однако пока лишь в двух dE-галактиках удалось обнаружить холодный межзвездный газ прямыми наблюдениями — в спутниках Туманности Андромеды NGC 205, NGC 185 (да и здесь его крайне мало — примерно 0,01% полной массы галактики).

Тем не менее наблюдения близких dE-галактик показали, что и в них молодые звезды связаны с межзвезд-

ной средой. В галактиках NGC 205 и NGC 185, в которых как раз «поштучно» наблюдаются молодые голубые звезды, заметны темные пылевые туманности, связанные, как мы знаем на примере нашей Галактики, с областями сравнительно плотного и холодного газа. Разумеется, его там мало, но и звездообразование, можно сказать, еле теплится.

Откуда же берется этот газ?

Оказывается, если даже полностью «очистить» галактику от газа, со временем он в небольшом количестве появится вновь. Его поставляют в межзвездное пространство стареющие звезды. Прямым доказательством такого процесса для ближайших галактик служат наблюдения планетарных туманностей — расширяющихся газовых оболочек, сбрасываемых звездами на определенном этапе их жизненного пути. Такие туманности обнаружены во всех близких дЕ-галактиках. Со временем сброшенный звездами газ заполняет все межзвездное пространство. А затем в зависимости от конкретных физических условий в галактике он либо покидает галактику, уходя в межгалактическое пространство, либо постепенно остывает и сжимается, чтобы вновь превратиться в звезды.

Судьба газа, сброшенного звездами, зависит от массы эллиптической галактики. Теоретические расчеты показали, межзвездный газ быстрее остывает и сжимается в небольших эллиптических галактиках. Качественно это объясняется тем, что звезды в них медленнее движутся, и столкновения газовых масс, сбрасываемых отдельными звездами, не приводят к такому сильному разогреву газа, какой можно ожидать в больших галактиках. Возможно, именно поэтому в эллиптических «нормальных», не карликовых, галактиках следы газа и молодых звезд встречаются крайне редко. Но кто знает, если бы какая-нибудь гигантская эллиптическая галактика находилась от нас не дальше, чем Туманность Андромеды, мы, быть может, и в ней смогли отыскать отдельные голубые звезды?

Хотя в карликовых эллиптических галактиках и происходит в некоторых случаях слабое звездообразование, в целом это очень спокойные и очень медленно меняющиеся звездные системы. В них не наблюдается никаких активных процессов, связанных с незвездными источниками энергии, — выбросов вещества, нетеплового радио-

излучения, активности ядра. Да и самогó ядра в обычном понимании этого слова в dE-галактиках в большинстве случаев нет, хотя в самом центре NGC 205 и M 32 виден маленький звездообразный объект («кern»), похожий на массивное шаровое скопление звезд. В более далеких галактиках подобные образования уже не доступны для наблюдений.

Разумеется, dE-галактики не ограничиваются спутниками Туманности Андромеды. Среди карликов — это галактики сравнительно высоких светимостей, поэтому-то они доступны наблюдениям до расстояний несколько десятков миллионов световых лет. Много dE-галактик найдено, например, в ближайшем большом скоплении галактик в созвездии Девы. Но среди большого числа dE-галактик всего лишь в одном случае можно заподозрить объект с активным ядром — своего рода карликовую радиогалактику. Об этом объекте стоит рассказать подробнее, чтобы показать, с какими трудностями подчас встречаются исследователи в попытке выяснить природу наблюдаемого источника.

Радиогалактики, мощнейшие источники радиоволн в природе, являются, как правило, гигантскими эллиптическими галактиками, активное ядро которых выбрасывает потоки релятивистских (т. е. имеющих скорость, очень близкую к скорости света) протонов и электронов. Такие галактики находят, изучая фотографии тех участков неба, где наблюдается тот или иной радионисточник.

Когда в 60-х годах было установлено, что координаты радионисточника, имеющего обозначение 3C 276, совпадают с координатами эллиптической галактики небольшого углового размера, это не могло вызвать большого удивления. Она вполне могла быть обычной радиогалактикой, удаленной на громадное расстояние, с которого выглядела как объект 15-й звездной величины. Спектр галактики не был известен, но сама она упоминалась в двух наиболее полных каталогах галактик — каталогах Воронцова-Вельяминова и Цвикки. У нее оказалась слегка голубоватая внутренняя область довольно высокой поверхностной яркости и более «красная» оболочка размером около 1'.

«Нормальная» радиогалактика могла так выглядеть с расстояния примерно 100 Мпк. Поскольку в мире галактик хорошо выполняется закон, по которому чем

дальше галактика, тем большую лучевую скорость она имеет (закон Хаббла), можно было ожидать, что ее скорость должна быть примерно равной 6—8 тыс. км/с. Каково же было удивление, когда ее спектр, сфотографированный вскоре после отождествления с радиоисточником ЗС 276, засвидетельствовал, что ее скорость равна всего 30 км/с (к тому же спектр не содержал ожидаемых эмиссионных линий, характерных для радиогалактик).

В 1970 г. канадский астроном С. ван ден Берг, работая в США на гигантском 5-метровом телескопе, получил с помощью электронно-оптического преобразователя новую спектрограмму галактики, чтобы проверить правильность неожиданной оценки. По восьми линиям поглощения было найдено более точное значение скорости ее движения (относительно Солнца): 10 ± 8 км/с. Такая скорость скорее характерна не для галактик, а для ближайших к Солнцу звезд.

На этом основании советский астроном Ю. П. Псковский предположил, что здесь мы имеем место не с радиогалактикой, а со слабым радиоисточником внутри нашей Галактики. Не может ли этот объект быть обычным остатком Сверхновой типа Крабовидной туманности? В пользу этого, казалось, говорило и то, что положение радиоисточника ЗС 276 всего на 1° отличается от положения Сверхновой, наблюдавшейся китайскими астрономами в XIII в.

Однако новые исследования объекта сделали такое объяснение маловероятным. Высококачественные его фотографии, полученные с помощью крупных телескопов, показали, что он не содержит такой волокнистой структуры, которая типична для остатков Сверхновых, а наблюдаемая сильная концентрация в нем яркости к центру очень характерна для эллиптических галактик. Наконец, С. ван ден Берг нашел, что спектр излучения объекта полностью аналогичен спектру шаровых скоплений, обедненных тяжелыми элементами, что, как мы знаем, можно ожидать, если перед нами dE-галактика.

Хотя скорость движения этой dE-галактики относительно Солнца близка к нулю, скорость относительно центра нашей Галактики, учитывая орбитальное движение Солнца, примерно равна 200 км/с. По закону Хаббла это соответствует расстоянию, всего в несколько раз большему, чем до Туманности Андромеды. Правда, для галактик с такими незначительными скоростями рассто-

яние определяется из закона Хаббла ненадежно. Его можно было бы уточнить, если бы в галактике наблюдались отдельные звезды, но, увы, их обнаружить не удалось, несмотря на специально предпринятые поиски.

Низкая скорость движения объекта ЗС 276 определенно показывает, что он не может быть очень далеким. Выходит, что это близкая карликовая звездная система. Однако если даже расстояние до нее составляет 2—3 Мпк, то перед нами не просто карликовая эллиптическая галактика, а объект уникальный по своей низкой светимости, которая составляет всего $3 \cdot 10^7 L_{\odot}$. Среди известных dE-галактик нет ни одной, светимость которой была хотя бы близкой к этому значению. Рекордным оказался и радиус — лишь 150—200 пк. И отсюда совсем непонятно, как столь крохотная галактика может обладать активным ядром и не уступать по мощности радиоизлучения такой гигантской галактике, как Туманность Андромеды.

Что же за взрыв привел к выбросу радиоизлучающих облаков, которые, судя по распределению радиоизлучения, занимают сейчас объем, во много раз превышающий объем самого загадочного объекта?⁶

Познакомившись с карликовыми эллиптическими галактиками, перейдем теперь к галактикам, очень похожим на них по звездному составу, но значительно менее понятным по своей природе.

Миры летят. Года летят. Пустая
Вселенная глядит в нас мраком глаз.

А. Блок

ПРИЗРАЧНЫЕ ГАЛАКТИКИ

Карликовые сфероидальные галактики (dSph-галактики) действительно можно назвать призрачными образованиями. Их свечение настолько слабо, что они не видны ни в какой телескоп. Кружок темного неба и редкие искорки звезд на его фоне — вот все, что увидит наблюдатель, прильнувший к окуляру телескопа, наведенного на такую галактику. И тем не менее каждая из

⁶ К сожалению, до настоящего времени остается невыясненным, что представляет собой радионисточник ЗС 276. Может, это вовсе и не галактика? Высказывалось, например, такое предположение (и автору оно кажется вполне возможным), что здесь мы случайно натолкнулись на довольно своеобразную игру природы; на центр

таких галактик содержит многие миллионы звезд, излучающих свет, но образующих столь разреженную систему, что ее поверхностная яркость во много раз меньше яркости темного ночного неба.

Вообразим себе, что свет какой-нибудь достаточно яркой звезды (скажем, Веги) однородно размазан по большому участку неба с площадью 1000 кв. градусов (для сравнения укажем, что площадь видимого диска Солнца или Луны — всего 0,2 кв. углового градуса). Мы получим очень слабо светящееся облако, которое, пожалуй, даже на абсолютно темном фоне сможет заметить лишь тренированный наблюдатель. Если теперь вырезать из него кружочек размером всего в 1', в 1000 раз меньший по площади, чем диск Солнца или Луны (для глаза это будет просто точка), то на небе по размеру и яркости он будет выглядеть как типичная dSph-галактика.

Хотя увидеть такой объект в телескоп нельзя, все же можно запечатлеть его изображение на фотографии, полученной с длительной экспозицией. А если галактика находится в числе ближайших к нам, то на фотографии она предстанет уже не как слабое пятнышко, а как скопление очень большого количества едва заметных звезд. Именно такими, как мы уже знаем, увидели астрономы первые карликовые сферондальные галактики, найденные на небе, — в созвездиях Скульптора и Печи.

Такой же выглядит и самая маленькая из известных dSph-галактик (а возможно, и галактик вообще), обнаруженная на обзорных фотографиях неба в 1977 г. Эта звездная система радиусом всего в несколько сотен парсек находится в созвездии Киля. По воле случая галактику разделяет на две неравные части граница с созвездием Кормы, так что крошечный объект расположен сразу в двух созвездиях. Расстояние до галактики-карлика около 85 кпк. Сравнение распределения звезд в этой галактике и в крупном шаровом скоплении М 3 позволило оценить массу объекта — всего около 0,5 млн. M_{\odot} . Если бы не чрезвычайная разреженность, эту звездную систему, безусловно, отнесли бы к числу шаровых скоплений.

нормальной и действительно очень далекой радиогалактики случайно проецируется сравнительно близкая к нам звезда, которая своим светом забивает свет центральной части галактики. В результате на фотографии получается эллиптическая галактика, тогда как, определяя спектр ее излучения, мы принимаем спектральные линии звезды за свойственные галактике и удивляемся ее необычно низкой скорости.

В настоящее время найдены сотни dSph-галактик, и почти все они выявлены путем тщательного изучения фотографий Паломарского обзора неба. Внутренние области «нормальных» галактик выглядят на этих фотографиях сильно передержанными, но тем не менее изображения сфероидальных карликов все равно едва заметны и видны на фотографиях неба как слабоконтрастные пятнышки, размер которых редко превышает 1—2 мм. Если учесть, что и они встречаются очень редко, можно представить себе, какой кропотливой работой являются их поиски даже на готовых фотографиях. Ведь каждая из сотен фотографий Паломарского обзора имеет размеры 35×35 см. К тому же в каждом случае требуется проверка, не является ли предполагаемая галактика в действительности лишь микроскопическим дефектом эмульсии.

Первые обнаруженные dSph-галактики получили название по тем созвездиям, в которых они находятся. Так появились галактики «Скульптор», «Дракон», «Печь», «Лев», «Козерог» и т. д. Часто галактики этого типа называют по имени первого открытого объекта — системами типа «Скульптора».

Большая часть известных карликовых сфероидальных галактик была найдена советским астрономом В. Е. Караченцевой. Ей же принадлежат первые статистические исследования этих объектов и их распределения по небу.

Оказалось, что они разбросаны по небу не беспорядочно. Их распределение во многом повторяет распределение обычных галактик: там, где мало галактик высокой светимости, не встречаются и dSph-галактики. Вместе с большими галактиками они входят в состав групп и скоплений. Особенно заметна концентрация к известному ближайшему к нам большому скоплению галактик в созвездии Девы (здесь она даже сильнее, чем для обычных галактик). Это хорошо заметно в распределении dSph-галактик по небу (рис. 1). Именно со скоплением галактик в созвездии Девы связано наиболее заметные сгущения dSph-галактик в центральной части распределения.

Такая связь карликовых сфероидальных галактик с большими галактиками значительно облегчает изучение карликов. Дело в том, что пока нет прямых способов, которые позволяли бы определять до них расстояния (за

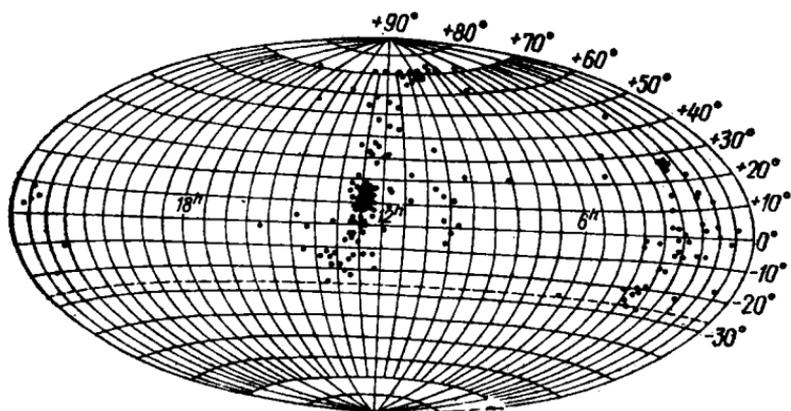


Рис. 1. Распределение dSph-галактик по небу (по В. Е. Караченцевой). Указаны экваториальные координаты (прямое восхождение α и склонение δ). Область ниже пунктирной линии не исследовалась

исключением нескольких ближайших карликов, в которых можно наблюдать отдельные звезды). А если не известно расстояние, значит, мы не можем узнать ни размера, ни светимости, ни массы галактики. Однако же когда карликовая сфероидальная галактика наблюдается в какой-либо группе или скоплении галактик, то вряд ли будет ошибкой, если приписать ей то расстояние, какое определено для «нормальных» галактик, входящих в эту систему.

Но даже если расстояние до dSph-галактики известно, узнать ее звездный состав и возможное происхождение все равно оказывается очень сложной задачей. Правда, для ближайших из этих галактик есть одно обстоятельство, которое облегчает их исследование и одновременно делает его столь важным. Ведь в данном случае имеется возможность изучать отдельные звезды. Такие разреженные системы, как dSph-галактики, оказались особенно удобными для изучения звездного состава по сравнению с галактиками других типов, и вот почему.

Карликовые сфероидальные галактики в общих чертах очень похожи одна на другую. В них нет заметных следов межзвездной пыли, искажающей цвет и спектр звезд, нет и той «мешанины» из старых и молодых звезд,

которая наблюдается в самых близких к нам галактиках — Магеллановых Облаках. К тому же из-за низкой пространственной плотности звезд их изображения на фотопластинке не так часто накладываются друг на друга, что особенно важно, когда речь идет об исследовании отдельных звезд.

Однако даже в ближайших сфероидальных галактиках пока доступны наблюдениям лишь звезды наиболее высоких светимостей (преимущественно красные гиганты). И, по-видимому, в недалеком будущем такие галактики, как «Скульптор» или «Печь», станут первыми звездными системами за пределами нашей Галактики, в которых удастся пронаблюдать звезды типа нашего Солнца или еще более слабые⁷. Такие звезды в ближайших галактиках должны иметь звездную величину 24—25^m, а их количество — во много раз превосходить количество наблюдаемых нами красных гигантов. Причем в других, более компактных галактиках, выделить такие звезды будет значительно труднее, чем в dSph-галактиках.

Но уже сейчас, основываясь лишь на наблюдениях звезд высокой светимости, можно сделать важные выводы относительно звездного состава сфероидальных галактик и возможных путей их образования. Прежде всего, карликовые сфероидальные галактики, как и dE-галактики, о которых рассказывалось раньше, похожи на шаровые звездные скопления. Иначе говоря, это очень старые звездные системы с удивительно низкой пространственной плотностью звезд.

Еще недавно считалось, по аналогии с шаровыми скоплениями, что образование звезд в них полностью прекратилось уже на первом этапе их существования. Сейчас появились основания усомниться в этом, по крайней мере в отношении ближайших к нам dSph-галактик. Среди их ярчайших звезд были обнаружены так называемые углеродные звезды, масса и светимость которых

⁷ Наблюдение звезд с невысокой светимостью в других галактиках — давнее желание астрономов. И дело здесь совсем не в «спортивном» интересе и не только в демонстрации новых возможностей техники. Как оказалось, для того чтобы надежно измерить возраст звездных систем, уточнить особенности их химического состава, опираясь на теорию строения звезд и звездной эволюции, крайне важно знать светимость, температуру или цвет звезд малой массы, которые пока еще не начали стареть и превращаться в красные гиганты.

выше, чем у красных гигантов. И поскольку их возраст оценивается в несколько миллиардов лет, то возможно, что 2—3 млрд. лет назад звездообразование, отсутствующее сейчас, еще «теплилось» в этих галактиках.

История каждой галактики это прежде всего история ее звездообразования в ней. От того, где и как интенсивно этот процесс происходил в прошлом, зависят ее современные черты. Восстановить картину далекого прошлого каждой галактики помогает анализ химического состава ее звезд. Задача эта очень сложная, и решается она на основании кропотливых измерений спектра, цвета и светимости отдельных звезд или всей звездной системы в целом. При этом астрономы опираются на созданную теорию эволюции звезд, выводы которой проверены по наблюдениям звездных скоплений нашей Галактики.

Как и в любой галактике, звезды в dSph-галактиках состоят в основном из водорода и гелия. На долю всех других химических элементов (для краткости астрономы называют тяжелыми все элементы тяжелее гелия или лития) практически во всех звездах приходится менее 2% по массе. Но именно эта маленькая «добавка» в значительной степени определяет и спектр, и светимость звезд с данной массой. Причем количество тяжелых элементов в звездах тесно связано с тем, как происходило звездообразование в галактике.

Дело в том, что тяжелые элементы образуются в недрах звезд в ходе их эволюции или при взрывах Сверхновых. Вместе с водородом и гелием эти химические элементы выбрасываются звездами в окружающее пространство и попадают в межзвездный газ. Если из последнего образуются новые поколения звезд, то содержание тяжелых элементов в них будет выше, чем в звездах, родившихся ранее. Вот почему содержание тяжелых элементов в звездах может рассказать о том, как происходило образование звезд в далекую эпоху, когда галактика была значительно моложе.

Массивные галактики, как удалось показать, имеют химический состав, близкий к «нормальному» (т. е. солнечному). В отличие от них химический состав карликовых галактик всех типов характеризуется недостатком, или, как обычно говорят, дефицитом тяжелых элементов. Так, в dE-галактиках относительное количество тяжелых элементов (т. е. по отношению к самому распро-

страненному и легкому — водороду) в несколько раз меньше, чем в таких звездах, как Солнце. Что же касается dSph-галактик, то там дефицит тяжелых элементов особенно велик. По своему химическому составу они располагаются между dE-галактиками и шаровыми скоплениями нашей Галактики, большая часть которых содержит лишь ничтожное количество элементов тяжелее гелия.

Сразу возникает вопрос: почему в карликовых галактиках не образовались звезды «нормального» химического состава?

Можно предположить, что в этих галактиках звезды перестали рождаться после краткого периода образования первых звезд. В результате мы сейчас наблюдаем звезды, относящиеся в основном к первым поколениям, еще не сильно обогащенным тяжелыми элементами за счет межзвездной среды (т. е. газ, из которого они возникли, еще не успел «впитать» в себя больших масс химически проэволюционировавшего вещества).

Что-то должно было прервать процесс звездообразования в сферондальных карликовых галактиках. Почему такого не произошло со звездами массивных галактик?

Быть может, все дело в том, что карликовые галактики сразу после начала звездообразования потеряли большую часть межзвездного газа, вследствие чего рождение звезд в них почти прекратилось?

Такое предположение не лишено оснований. Мало-массивные галактики удерживают межзвездный газ значительно слабее, чем галактики-гиганты. Чтобы газ покинул галактику, ему надо сообщить определенную скорость, которую можно назвать скоростью убегания (для Земли аналогичная скорость называется второй космической). Но если для галактик-гигантов скорость убегания равна сотням километров в секунду, то для карликовых галактик она измеряется от нескольких километров в секунду до нескольких десятков километров в секунду.

Такую скорость движения могут сообщить газу молодые массивные звезды. На примере звезд нашей Галактики мы хорошо знаем, что массивные звезды высокой светимости передают межзвездной среде очень большую энергию: за счет нагрева газа ультрафиолетовым излучением, мощных потоков газа, рождающихся в

звездных атмосферах (звездного ветра), и в результате взрывов Сверхновых. При образовании первого поколения звезд в карликовой галактике действие этих звезд на газовую среду могло быть настолько сильным, что галактика быстро лишилась большей части межзвездного газа.

Если масса галактики заметно уменьшится в результате ухода из нее значительной части межзвездного газа, вслед за газом «потянутся» и уже сформировавшиеся звезды, так как скорость их движения окажется слишком большой (больше скорости убегания) для ослабленного гравитационного поля галактики. Точно так же все планеты навсегда покинут Солнце, если его масса по каким-нибудь причинам уменьшится более чем вдвое. Правда, галактика, в отличие от планетной системы, не может рассыпаться полностью при уменьшении массы: часть звезд все же останется связанной гравитацией. Но они будут двигаться по вытянутым орбитам, далеко уходя от центра звездной системы, и первоначально компактная галактика в конечном счете превратится в очень разреженное звездное облако.

Примерно так, по гипотезе японского ученого А. Сэйто, и возникли «призрачные» dSph-галактики. Он обратил внимание на то, что если построить зависимость масса — плотность для эллиптических галактик (E-галактик) и шаровых скоплений, то dSph-галактики резко выпадут из общей зависимости. Как видно из рис. 2, карликовые сфероидальные галактики хотя и хорошо вписываются в тот интервал масс, который разделяет шаровые скопления и E-галактики, но плотность их в тысячи раз меньше, чем это можно было бы ожидать, исходя из общей зависимости масса — плотность.

Именно это побудило А. Сэйто предположить, что сфероидальные галактики-карлики миллиарды лет назад, т. е. еще при своем образовании, потеряли большую часть массы, существовавшей в форме газа, на стадии очень интенсивного рождения звезд, лишившись тем самым того вещества, из которого впоследствии могли бы образоваться звезды. Это привело к тому, что плотность галактики упала во много раз, а звезд новых поколений, с высоким содержанием тяжелых элементов, так практически и не появилось. И хотя рассмотренная здесь схема всего лишь предположение (правда аргументированное), сама идея о том, что карликовые сфе-

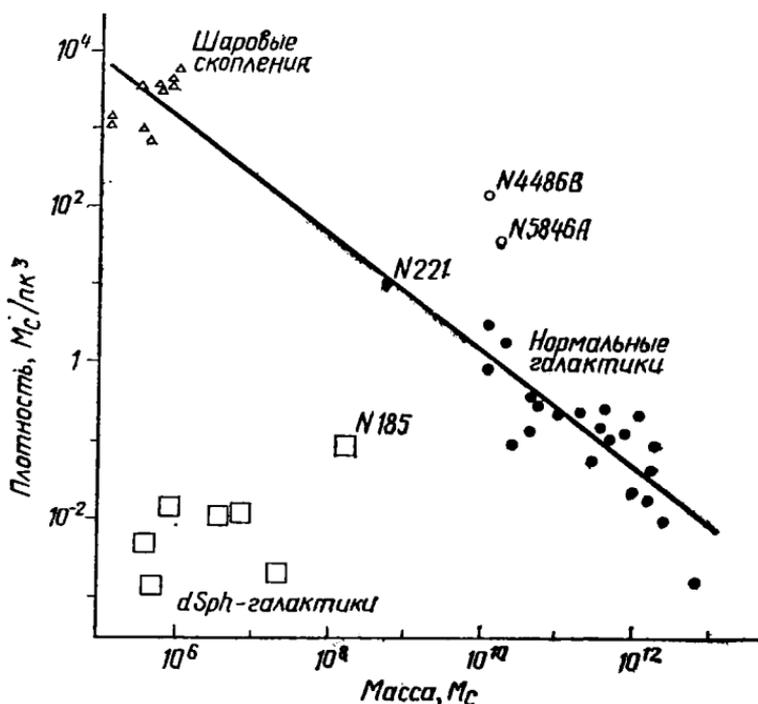


Рис. 2. Диаграмма масса — плотность галактик согласно А. Сэйто. Для некоторых галактик указаны номера по каталогу NGC (на рисунке он сокращенно указан как N)

роидальные галактики представляют собой остатки расширившихся галактик небольшой массы, получила распространение и развитие в работах ряда авторов.

Так или иначе этих эфемерных звездных систем, какими являются dSph-галактики, успело возникнуть очень много. В нашей Местной группе, например, их, по-видимому, в несколько раз больше, чем галактик всех остальных типов (и нормальных, и карликовых) вместе взятых. А сколько их пока не обнаружено из-за очень низкой яркости или успело уже разрушиться приливными силами со стороны соседних галактик! Вследствие низкой плотности их вещества они не могут безнаказанно подойти близко ни к одной из гигантских галактик, поскольку их слабое гравитационное поле весьма ненадежно скрепляет звезды в единую систему. И неудивительно, что среди многих dSph-галактик нет ни одной,

которая находилась бы от нашей Галактики на расстоянии, меньшем 60 кпк: гравитационное поле Галактики создает приливные силы, достаточные, чтобы разрушить разреженную галактику, если она подойдет еще ближе.

Каков бы ни был механизм образования карликов низкой плотности, та или иная часть межзвездного газа в них может все-таки уцелеть. Иначе было бы непонятным, почему в ближайших dSph-галактиках не все звезды имеют одинаковый возраст или химический состав. Те из галактик низкой яркости, в которых межзвездный газ сохранился до настоящего времени, мы должны искать среди карликовых галактик, относящихся к другому типу — карликовым неправильным галактикам.

К ним мы теперь и перейдем.

Навстречу вихрям я всегда бросался,
Хотя мой телескоп и слаб, и мал,
Чтоб видеть звезды. Я не оставался
На берегу, как все. Я воевал
С пучиной вечности...

Дж. Байрон

САМЫЕ НЕ ПОХОЖИЕ ДРУГ НА ДРУГА КАРЛИКИ

И эллиптические, и сфероидальные карликовые галактики не отличаются большим разнообразием форм или звездного состава. Но этого никак нельзя сказать по отношению к карликовым неправильным галактикам (dIm-галактикам). По форме, яркости, содержанию газа и молодых звезд они очень не похожи друг на друга. Как правило, это маленькие звездные системы размером несколько килопарсек, не обладающие заметным ядром, но очень неоднородные по яркости (вследствие чего многие из них кажутся совершенно бесформенными).

В немногих сравнительно близких галактиках этого типа на фотографиях заметно большое количество отдельных наиболее ярких звезд. В отличие от звезд эллиптических и сфероидальных карликовых галактик это не красные гиганты, а голубые сверхгиганты высокой светимости, поскольку из-за высокой температуры большую часть световой энергии они излучают в ультрафиолетовой области спектра. Подобные звезды хорошо известны и в нашей Галактике. Они не могут быть такими же старыми, как звезды dE- или dSph-галактик; это молодые массивные звезды, которые наблю-

даются там, где в галактике происходит звездообразование.

Вместе с голубыми звездами в dIm-галактиках часто заметны небольшие светящиеся пятнышки, имеющие эмиссионный спектр излучения (т. е. спектр с эмиссионными спектральными линиями). Иногда они слабы, и их можно различить только на фотографиях, сделанных через специальные светофильтры, пропускающие излучение в той или иной спектральной линии, а иногда сразу бросаются в глаза. Некоторые галактики из-за этих пятен на негативных фотографиях выглядят, по образному выражению В. Бааде, «как будто их забрызгали чернилами». Это облака горячего газа (области HII), светящиеся флуоресцентным светом под действием ультрафиолетового излучения наиболее горячих голубых звезд. Они связаны с областями звездообразования в галактиках.

Самой первой детально обследовавшейся галактикой этого типа была небольшая звездная система NGC 6812, находящаяся чуть ближе к нам, чем Туманность Андромеды. Ее подробное изучение первым предпринял еще в 20-х годах один из основоположников внегалактической астрономии Э. Хаббл. Это была первая галактика, в которой он обнаружил переменные звезды, и одна из первых, в которой удалось найти голубые звезды, звездные скопления и области HII. Вот почему ее наблюдения сыграли важнейшую роль в установлении природы галактик как звездных островов.

Другая довольно похожая на нее, но расположенная несколько дальше dIm-галактика, и тоже довольно детально изученная, известна под обозначением IC 1613. Как и многие галактики, она напоминает по внешнему виду и несимметричной форме ближайšie к нам галактики — Магеллановы Облака, хотя те формально и не относятся к карликовым системам.

В. Бааде, исследовавший в 30-х годах эту галактику, был удивлен неравномерным распределением в ней голубых звезд, группирующихся в отдельных обширных областях. Наиболее яркая такая звездная ассоциация находится на северо-восточном крае этой галактики. В галактике выделяется и вторая, менее яркая область звездообразования. Она, по-видимому, чуть старше первой, потому что в ней наряду с голубыми встречаются и красные сверхгиганты.

Такой характер распределения областей звездообразования довольно типичен для dIm-галактик. Да и их кажущаяся бесформенность, «рваные» очертания объясняются не тем, что вещество в галактике распределено не симметрично, а беспорядочностью расположения областей с повышенной яркостью, связанных со звездообразованием, и которые бывают разбросаны по галактике более или менее случайным образом. Безусловно, со временем одни области звездообразования должны стареть и «гаснуть», другие — разгораться, так что внешний вид этих галактик за несколько сотен миллионов лет наверняка меняется до неузнаваемости.

Однако все же основу dIm-галактик, как и галактик других типов, составляют более слабые старые звезды. Наблюдения этих звезд в ближайших неправильных галактиках наглядно показали, что они распределены там так же «гладко» и симметрично относительно центра, как и в эллиптических галактиках.

Две упоминавшиеся dIm-галактики имеют звездную величину около 10^m и занимают на небе область размером примерно $20'$ каждая. Поверхностная яркость этих галактик невелика, и если бы там не были молодые звезды, мы наверняка отнесли бы их к карликовым сферондальным системам. По-видимому, между карликовыми галактиками этих двух типов нет резкой границы. Просто в одном случае галактика по тем или иным причинам лишена межзвездного газа, и звезды в ней перестали образовываться, а в другом случае еще имеется межзвездный газ и продолжается звездообразование.

Из числа галактик Местной группы около 10 относится к dIm-галактикам. Среди них есть одна, отличающаяся необычно интенсивным звездообразованием и сравнительно высокой поверхностной яркостью. Эта галактика Ривс 8⁸ (поскольку она под № 8 включена в список карликовых галактик, составленный Дж. Ривсом) имеет звездную величину $14,5^m$ и очень маленький угловой размер, составляющий всего $1'$. Галактики, подобные NGC 6822 или IC 1613, выглядели бы такими по размеру с расстояния, в 20 раз большего, чем то, на котором они находятся (далеко за пределами Местной

⁸ Ее фотография приведена вверху на последней странице обложки этой брошюры. Причудливое изображение галактики напояминает на фотографиях, получаемых с небольшим телескопом, след ступни человека.

группы). И в этом случае не было бы никакой надежды различить в них отдельные звезды.

Однако когда галактика Ривс 8 была сфотографирована на 3-метровом телескопе Ликской обсерватории, неожиданно выяснилось, что на ее фотографии заметно большое количество голубых звезд, ярчайшие из которых имеют звездную величину 19^m . Если предположить светимость ее ярчайших звезд такой же, как и у других dIm-галактик Местной группы, то окажется, что этот объект может быть даже ближе, чем Туманность Андромеды (во всяком случае, если дальше, то незначительно), т. е. относится к числу ближайших к нам галактик⁹. Если это так, то перед нами — одна из самых маленьких из известных галактик, ее размер составляет всего около 200 пк (для сравнения напомним, что поперечник нашей Галактики превышает 30 кпк).

Но самый главный сюрприз галактика преподнесла после того, как были проведены точные фотоэлектрические оценки ее цвета. Оказалось, что основное количество энергии в ее спектре приходится на коротковолновую (голубую и синюю) области. Для галактик подобный цвет — редкое исключение. Здесь у нее почти нет конкурентов среди нескольких сотен галактик, для которых имеются количественные измерения цвета.

Такой же голубой цвет, как у Ривс 8, обычно встречается лишь у квазаров (да и то далеко не у всех) и у ядер некоторых сейфертовских галактик, отличающихся высокой активностью. Но в этих случаях мы имеем дело с компактным источником нетеплового излучения, в карликовой же галактике свечение создается совокупностью звезд (эмиссионные линии, связанные с излучением горячего газа, в этой галактике довольно слабы). А необычный цвет галактики связан с большим числом молодых горячих звезд высокой светимости.

По-видимому, в этой маленькой галактике совсем недавно (по астрономическим масштабам времени, конечно) произошла или происходит сейчас мощная вспышка звездообразования, охватившая практически всю звездную систему. Интенсивному образованию звезд в ней могло способствовать высокое содержание межзвездного газа. Во всяком случае наблюдения в линии 21 см показали, что на долю водорода, самого распространенного газа, приходится более 30% массы всего

⁹ Последние измерения показывают, что расстояние до этой галактики немногим более 1 Мпк.

вещества галактики. Столь большое относительное содержание межзвездного газа довольно обычно для dI_m -галактик, однако в одних из этих галактик наблюдается довольно слабое звездообразование, а в других оно протекает очень бурно. Нельзя ли это объяснить нерегулярным характером звездообразования в маленьких галактиках, при котором молодые звезды то появляются в них в большом количестве, то почти исчезают?

В связи с этим стоит обратить внимание на одну особенность образования звезд в галактиках. В больших, т. е. не карликовых галактиках, какими, например, являются наша Галактика, Туманность Андромеды или Большое Магелланово Облако, темпы звездообразования если и остаются в течение долгого времени примерно постоянными, то лишь для всей галактики в целом, а не для отдельных ее областей. В каждый данный момент активное звездообразование происходит как бы «пятнами». Характерный размер «пятен» несколько сотен парсек, причем они не однородны по структуре, и внутри каждого есть свои центры активности (молодые звездные скопления или ассоциации).

В галактиках происходят как бы локальные вспышки звездообразования, затухающие через несколько десятков миллионов лет. Их затухание, по-видимому, связано не столько с исчерпанием газа, порождающего звезды, сколько с появлением достаточно большого числа горячих звезд высокой светимости, которые нагревают газ и уменьшают его плотность, в результате чего гравитационная конденсация в данной области прекращается. В выявлении подобного дискретного характера звездообразования в галактиках большая роль принадлежит московскому астроному Ю. Н. Ефремову.

Нетрудно понять, что если размер областей звездообразования не уменьшается с размером галактики (а это действительно так), то чем меньше галактика, тем более сильные колебания будут испытывать полное число молодых звезд и темпы звездообразования в ней. Ведь в больших галактиках одновременно действует сразу много очагов звездообразования, и хотя одни со временем исчезают, а другие появляются, их суммарный вклад в излучение галактики не будет подвержен большим колебаниям. В маленьких же галактиках одновременно может присутствовать лишь незначительное число таких очагов (а случайно может и ни одного не ока-

заться), а отсюда имеются резкие колебания темпов образования звезд. В пределе, при размере галактики лишь 1 клк, в ней изредка должны происходить мощные вспышки звездообразования, охватывающие всю галактику, на короткое время многократно увеличивающие яркость всей галактики.

Теорию звездообразования в карликовых галактиках, основанную на предположении о статистическом характере этого процесса, разработали в 1980 г. американские ученые Х. Жерола, П. Сейден и Л. Шульман. Они рассчитали, как со временем должны изменяться те характеристики галактик, если звездообразование вспыхивает в отдельных ячейках. В численных моделях галактик, построенных авторами, звездообразование носило явно выраженный вспыхивающий характер в масштабах всей галактики, если ее размеры не более чем в 10 раз превышали размер отдельных ячеек звездообразования (карликовые галактики вполне удовлетворяют этому условию). Чем меньше был радиус галактики в численном эксперименте, просчитанном учеными, тем реже происходили эти вспышки и тем сильнее была каждая из них. Галактики размером 400 пк во время вспышки звездообразования становились ярче в 100 раз.

Разумеется, подобные модельные расчеты лишь приблизительно могут представлять реальные процессы звездообразования в галактиках. Достаточно сказать, что в наблюдаемых галактиках области звездообразования могут заметно различаться и по размеру, и по числу молодых звезд (а это не учитывалось в расчетах). Тем не менее численные модели общий характер звездообразования, по-видимому, отражают правильно, и поэтому даже упрощенные модели смогли объяснить целый ряд свойств карликовых галактик, таких, как низкое содержание тяжелых элементов и очень большое разнообразие в темпах звездообразования, наблюдающееся даже среди галактик-карликов, содержащих примерно одинаковое количество межзвездного газа.

Раньше уже говорилось, что карликовая галактика могла лишиться межзвездного газа на стадии интенсивного звездообразования, не удержав его своим слабым гравитационным полем. Но даже если часть межзвездного газа и остается в галактике, при некоторых условиях он неизбежно покинет ее и без помощи молодых звезд. Это произойдет в том случае, если галактика бу-

дет быстро двигаться в разреженной плазме межгалактического пространства. Об этом говорит одна любопытная особенность распределения галактик-карликов в группах и скоплениях. Известно, например, что в Местной группе галактик карликовые сфероидальные системы «жмутся» к центральным галактикам-гигантам (не подходя, однако, совсем близко), а dIm-галактики предпочитают находиться на периферии (об этом подробнее см.: Псковский Ю. П. Соседи нашей Галактики).

Советские ученые Я. Эйнасто, А. Чернин и П. Саар показали, что такое расположение галактик характерно не только для Местной группы, но и других подобных ей систем. Ими было обосновано предположение о том, что галактики во внутренней области систем успели потерять межзвездный газ, двигаясь в более плотной газовой среде, окружавшей «центральные» галактики (на периферии плотность межгалактического газа должна быть значительно ниже). И если существование достаточно плотной газовой межгалактической среды в таких системах, как Местная группа, до сих пор проблематично, то в скоплениях галактик в ряде случаев межгалактический газ наблюдается непосредственно — по своему рентгеновскому излучению.

Поскольку галактики в скоплениях движутся очень быстро (характерная скорость их движения относительно центра скопления составляет около 1000 км/с), поэтому можно ожидать, что выметание газа из карликовых галактик в скоплениях должно быть особенно эффективным. Если dIm-галактика при своем движении вокруг центра масс скопления «влетит» в его внутреннюю область, то даже столь низкая плотность межгалактического газа, которая составляет всего несколько сотен отдельных атомов в кубическом метре, будет достаточно, чтобы набегающий на галактику «встречный» поток газа вымет бы из нее почти всю межзвездную среду. В результате dIm-галактика становится dSph-галактикой.

Действительно, как было показано В. Е. Караченцевой и А. В. Засовым, в близких скоплениях галактик доля карликовых галактик, лишенных признаков звездообразования (т. е. систем типа «Скульптора»), по отношению ко всем галактикам-карликам низкой яркости значительно возрастает. Особенно наглядно это проявляется в случае скопления галактик в Деве. Во внутрен-

ней области скопления очень мало dIm-галактик (да и к тому же они могут проецироваться на центр, в действительности находясь далеко от него), а dSph-галактики, наоборот, сильнее концентрируются к центру скопления, чем галактики любого другого типа.

Правда, в скоплении галактик в Деве наблюдаются удивительно слабые голубые галактики очень маленького размера, предположительно относящиеся к dIm-галактикам. Но после того как на 6-метровом рефлекторе были измерены лучевые скорости этих объектов, возникло сомнение в том, что они располагаются внутри скопления. «Нормальные» галактики из скопления в Деве удаляются от нас со средней скоростью около 1000 км/с, а голубые галактики в большинстве своем обладают или значительно меньшей скоростью (менее 500 км/с) или значительно большей (превышающей 1500 км/с). По-видимому, большинство этих объектов находится за пределами скопления или по крайней мере за пределами его центральной области, заполненной межгалактической средой.

Карликовые галактики, не относящиеся к внутренним областям групп и скоплений, могут многие миллиарды лет сохранять большие запасы неизрасходованного межзвездного газа. Раньше уже говорилось, что в dIm-галактиках на долю межзвездного газа нередко приходится значительная часть полной массы вещества галактики. Это показали радионаблюдения галактик в линии радиоизлучения атомарного водорода на длине волны 21 см. В ряде случаев газ прослеживается в галактике до таких расстояний от центра, на которых уже незаметно присутствия звезд.

Наиболее разительный случай представляет собой пара карликовых галактик NGC 4485/4490 в созвездии Гончих Псов. Общая газовая оболочка галактик по размеру превышает 100 кпк. Радиокарта этой пары, полученная по наблюдениям на 100-метровом радиотелескопе, показана на рис. 3 (темные пятна в центре — это оптические контуры галактик). Природа подобных газовых оболочек пока не ясна. Есть основания полагать, что полная масса этих галактик значительно больше, чем та, которая заключена в пределах оптических границ. Существует какая-то «невидимая» масса, которая удерживает своей гравитацией галактики и газ вместе.

Проблема существования невидимой (скрытой) мас-

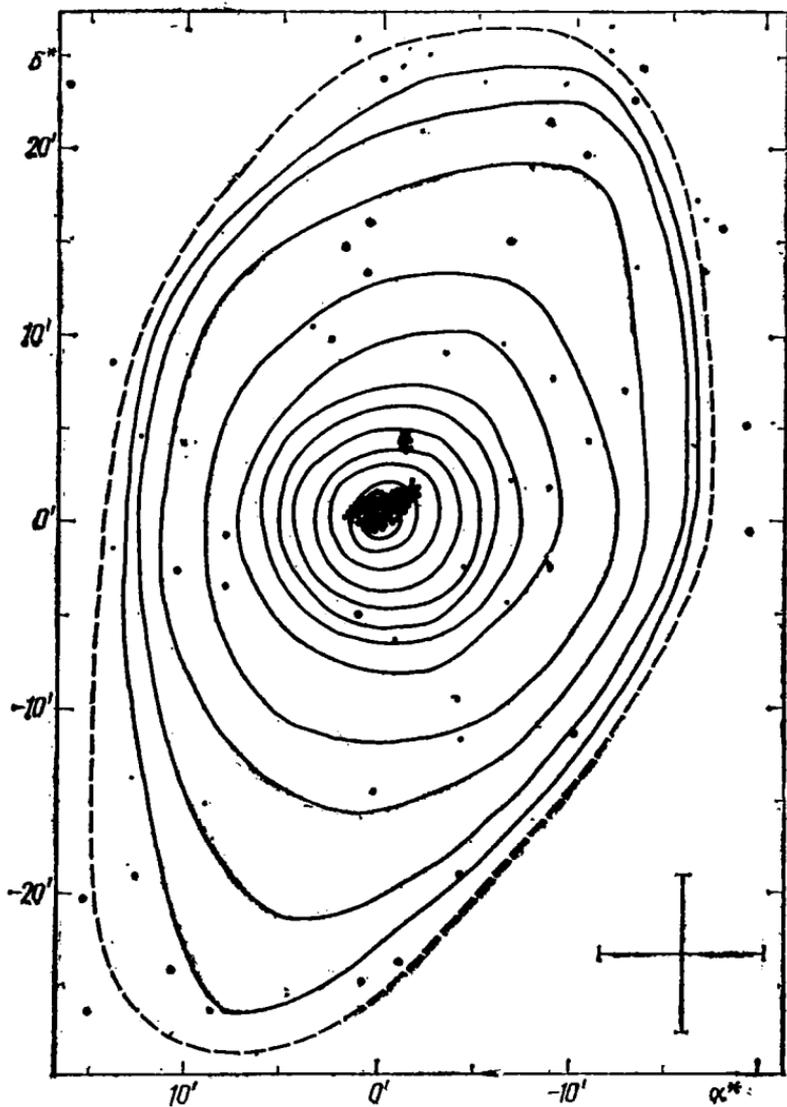


Рис. 3. Распределение водорода вокруг пары карликовых галактик по радионаблюдениям. Крест справа внизу рисунка характеризует размер диаграммы направленности радиотелескопа

сы вещества (возможно, очень слабых звезд) на периферии галактик и между ними уже давно беспокоит астрономов. В одних случаях для предположений о присутствии такой массы нет никаких оснований, в других, по мнению автора, ее существование бесспорно и вытекает из анализа скоростей движения вещества внутри галактик. Быть может, наблюдения сравнительно близких карликовых звездных систем помогут решить эту проблему¹⁰.

Если карликовые галактики «теряют» межзвездный газ, он переходит в межгалактическое пространство. Поэтому значительная часть наблюдаемого межгалактического газа в прошлом могла находиться внутри галактик. Однако у «потерянного» газа может быть и иная судьба. Представим себе, что карликовая галактика, содержащая газ, в своем движении встречается с массивной галактикой, сталкиваясь с ней или хотя бы задевая ее внешние области. Естественно, такая встреча не может пройти для карликовой галактики безнаказанно. Расчеты показывают, что даже если она уцелеет и не будет разрушена приливными силами, то разреженная газовая среда, окружающая массивную галактику (газовая корона), очистит ее от межзвездного газа, который навсегда перейдет в собственность другой галактики. Поскольку карликовые галактики часто наблюдаются в группах, по соседству с большими звездными системами, такие события не должны быть очень редкими.

В связи с этим обращают на себя внимание малочисленные примеры странных эллиптических галактик, в которых содержится значительное количество межзвездной среды (напомним, что в большинстве случаев эллиптические галактики лишены всяких наблюдаемых признаков присутствия там газа или пыли). Эти исключения из общего правила обнаружилось как при анализе радиоизлучения водорода, так и при рассмотрении оптических фотографий, на которых ряд эллиптических галактик выглядят пересеченными темной полосой из поглощающей материи (межзвездной среды, содержащей пыль).

¹⁰ Обширные газовые оболочки, наподобие той, которая окружает пару галактик NGC 4485/4490, встречаются все же редко. В большинстве случаев газовая составляющая в карликовых неправильных галактиках распределена примерно в тех же границах, что и оптическое излучение.

Как и в спиральных галактиках, межзвездная среда в этих эллиптических системах образует широкий и сравнительно тонкий диск. Но есть и различие. Внутри спиральных галактик диск всегда расположен в экваториальной плоскости (если исключить очень далекие от центра области), так что когда он виден «с ребра», то кажется пересекающим галактику по большой оси. В случае эллиптических галактик это не всегда так: темная полоса межзвездной среды может пересекать галактику по малой оси и под острым углом.

Интересно, что многие эллиптические галактики с газопылевым диском являются радиогалактиками. В них имеется активное ядро, которое выбрасывает потоки быстрых частиц с околосветовыми скоростями, что и обуславливает мощное радиоизлучение. К числу таких галактик относится ближайшая к нам радиогалактика Центавр А, в которой темная полоса делит видимый эллиптический диск надвое вдоль малой оси (причем на краю галактики по обе стороны от центра полоса искривляется). Такая ориентация газопылевого диска может быть вызвана тем, что межзвездное вещество, образующее этот диск, первоначально не было с галактикой связано и попало в нее извне.

В связи с этим возникает вопрос: нет ли в межгалактическом пространстве облаков газа с массой в сотни миллионов масс Солнца, с которыми может случайно встретиться та или иная галактика.

Наблюдателями были поставлены специальные программы поиска таких межгалактических облаков. В оптическом диапазоне спектра их искать бесполезно, ведь холодный газ не излучает света. Можно было попытаться найти облака в линии излучения водорода 21 см, однако и это очень затруднительно: заранее неизвестно не только, где их искать, но и на какой частоте. Точное значение частоты (или длины волны) радиолинии из-за эффекта Доплера зависит от того, с какой скоростью движется газ, образующий облако относительно наблюдателя. Изменение скорости приближения или удаления облака от наблюдателя всего на 1 км/с соответствует изменению частоты излучения почти на 5 кГц. А ведь скорости далеких галактик могут измеряться тысячами километров в секунду. Вместе с частотой, естественно, меняется и длина волны излучения. Поэтому при наблюдении водорода в галактиках каждый раз приходится

«настраивать» радиоаппаратуру на ту длину волны, на которой он излучает в данной галактике. Это затрудняет поиски радиосточника, скорость которого не известна.

Проще всего облако межгалактического газа можно обнаружить вблизи отдельных галактик или в группах галактик, где с большой вероятностью скорость межгалактического облака будет близка к скоростям близ расположенных галактик.

К чему же привели поиски изолированных облаков газа среди галактик?

Прежде всего, их оказалось крайне мало, да и размеры, как правило, невелики (лишь весной 1983 г. поступило сообщение об открытии облака межгалактического водорода размером с большую галактику). Но «чистые» это облака, или они окружают давно сформировавшиеся карликовые малозаметные галактики?

Несколько лет назад астрономы К. Ло и У. Саргент провели поиск межгалактических облаков в трех сравнительно близких к нам группах галактик. Наблюдения на радиотелескопе с 40-метровой антенной не привели к успеху; не удалось обнаружить ни одного облака водорода. Тогда был использован самый крупный в мире радиотелескоп с поворотной антенной — 100-метровый гигант, построенный в ФРГ. По сравнению с 40-метровым радиотелескопом его чувствительность на длине волны излучения водорода в 10 раз больше. С помощью этого инструмента в группе галактик вокруг известной спиральной туманности М 81 было действительно найдено четыре изолированных водородных облака с массой газа по несколько сотен миллионов масс Солнца в каждом.

Но изучение фотографий, полученных с помощью оптических телескопов, показало, что это не «чисто» газовые образования. Внутри них находятся небольшие dIm -галактики с низкой поверхностной яркостью. Судя по количеству связанного с ними водорода, на долю газа, по-видимому, приходится основная масса вещества этих галактик. Такие галактики не совсем правильно называть звездными системами — это скорее газозвездные облака. Однако формально, по существующей классификации мы их относим к dIm -галактикам, исключительно богатым межзвездным газом.

Особенно интересным оказался самый маленький из найденных объектов, получивший наименование М 81

dW A. Сравнительно небольшое расстояние до него позволяет заметить в нем отдельные светлые узелки — это либо звездные скопления, либо области ионизованного газа. Светимость этой галактики оказалась всего около полумиллиона светимостей Солнца (что даже меньше, чем у многих шаровых скоплений нашей Галактики!). Вероятнее всего, не облака «чистого» газа, а подобные карликовые галактики, сталкиваясь с «нормальными» галактиками, передают им свой газ, превращаясь при этом в карликовые сфероидальные галактики или разрушаясь.

Сейчас такие галактики, как «газовые» карлики, встречаются редко, потому что сохранились лишь те из них, которые избежали столкновений с большими галактиками или прохождения через сравнительно плотную межгалактическую среду. Но в прошлом этих объектов могло быть несравненно больше, и взаимодействие карликов с «нормальными» галактиками должно было сыграть важнейшую роль в эволюции многих из них.

Далеко не все карликовые галактики, богатые газом, имеют низкую поверхностную яркость. Раньше уже говорилось, что для них, по-видимому, характерны вспышки звездообразования, во время которых они во много раз увеличивают свою яркость. При этом, если галактика с интенсивным звездообразованием достаточно далека, она будет выглядеть как сравнительно яркий компактный объект голубого цвета (из-за присутствия молодых горячих звезд). На больших расстояниях его будет трудно отличить на фотографии от обычной звезды. Такие объекты известны — голубые компактные галактики, очень интересный класс объектов, многие из которых родственны d1m-галактикам.

Всегда таинственно светило,
Но все ж нельзя, чтоб никогда
Ты звездной тайны не открыло.
Скажи нам что-нибудь, звезда...
Какие элементы там
Твой свет несут к другим мирам?
Понятым языком сумей ты
Хоть что-нибудь поведать нам.

Р. Фрост

МОЛОДЫЕ ИЛИ «МОЛОДЯЩИЕСЯ» ГАЛАКТИКИ?

Итак, речь пошла о галактиках сравнительно высокой поверхностной яркости, имеющих голубой цвет. Есть два способа поиска на небе объектов, выделяющихся по

цвету. Во-первых, можно фотографировать различные области неба через специально подобранные цветные светофильтры с последующим сравнением полученных изображений. Во-вторых, можно использовать призму, поставленную перед объективом телескопа, которая «растягивает» изображения всех источников в коротенькие черточки-спектры: по этим «миниспектрам» опытный наблюдатель и судит о цветовых особенностях галактик в области неба, запечатленной на фотопластинке.

Второй метод был предложен и активно использован советским астрономом Б. Е. Маркаряном и его учениками. Использование этого метода привело к обнаружению многих сотен галактик, имеющих повышенную мощность излучения в синей и ультрафиолетовой областях спектра. Правда, галактики Маркаряна не представляют однородной группы объектов, и далеко не все из них можно назвать компактными, а тем более карликовыми галактиками. В их число попали и некоторые неправильные, и спиральные галактики, и даже многие квазары. Однако среди них оказались и голубые карликовые галактики.

Много голубых компактных галактик (BC-галактик), в том числе и карликовых (dBC), было обнаружено американским астрономом Ф. Цвикки, которому принадлежит серия работ по результатам поиска и исследований галактик высокой поверхностной яркости. Но в число галактик Ф. Цвикки также вошли самые разнообразные объекты, т. е. не только карликовые и не только голубые. Их природа и причина появления в них наблюдаемых особенностей неодинаковы. Например, голубой цвет некоторых спиральных галактик связан с ярким компактным ядром, находящимся на высокой стадии активности (это так называемые сейфертовские галактики).

Здесь нас будут интересовать лишь dBC-галактики, маленькие звездные системы примерно с такими же размерами, как и dIm-галактики (несколько килопарсек в поперечнике). Правда, в некоторых случаях такие объекты можно назвать карликовыми лишь условно. Так как из-за высокой поверхностной яркости их светимость бывает выше той обычно принимаемой границы, которая отделяет карликовые галактики от «нормальных».

В настоящее время известно несколько сотен dBC-галактик. Для многих из них получены оценки содержания водорода. От dIm-галактик эти объекты отличаются,

как правило, более голубым цветом, высокой поверхностью яркостью и, как правило, сильными эмиссионными линиями в спектре, указывающими на присутствие ионизованного газа, нагретого звездами. Все эти признаки говорят об интенсивном звездообразовании, охватывающем всю или значительную часть небольшой галактики.

Измеряя интервал тех частот радиоволн, на которых приходит радиоизлучение атомарного водорода в каждой галактике, можно оценить скорость движения межзвездного газа внутри нее. Эта скорость обычно бывает близка к круговой скорости внешних областей галактики. Зная ее, несложно найти примерное значение массы галактики в целом. Оказалось, что масса dBC-галактик, как правило, не превышает 1 млрд. M_{\odot} , а во многих случаях «не дотягивает» и до 100 млн. M_{\odot} . Для сравнения укажем, что масса нашей Галактики составляет не менее 200 млрд. M_{\odot} .

По массе и размеру карликовые голубые компактные галактики оказались примерно такими же, как и карликовые неправильные галактики. Но встречаются они реже последних. Известна лишь одна dBC-галактика, которая находится настолько близко от нас (на расстоянии около 3 Мпк), что в ней можно отчетливо наблюдать отдельные звезды. В остальных случаях звездный состав и число молодых звезд определяются лишь по анализу суммарного спектра излучения всей галактики.

Проще решается другая задача: определение химического состава вещества в галактике по относительным яркостям спектральных линий, хорошо заметным в спектрах BC-галактики. Оказалось, что dBC-галактики содержат очень мало тяжелых элементов. Таких элементов, как кислород, азот, неон, сера, в них обычно в 10—20 раз меньше по отношению к общей массе газа, чем в массивных галактиках, подобных нашей. В dBC-галактиках они еще не успели образоваться в больших количествах.

Здесь и возникает самая главная проблема, касающаяся этих галактик. С одной стороны, имеется большое количество голубых массивных звезд, идет интенсивное звездообразование, а с другой, несмотря на это они характеризуются колоссальными запасами неизрасходованного газа (составляющими подчас более половины массы галактики) и малым количеством тяжелых эле-

ментов (рождающихся в процессе эволюции массивных звезд), не успевших накопиться в межзвездном газе галактики, несмотря на большое число производящих их массивных звезд.

Особенно остро эта проблема касается галактик с необычно яркими спектральными линиями, из-за которых их спектр (рис. 4) выглядит совершенно нетипичным для звездных систем. Подобные спектры характерны для светящихся газовых туманностей (областей III), а не для галактик. Такие компактные голубые галактики получили название «изолированных межгалактических областей III». Они выглядят похожими не на галактику, а на изолированные облака горячего газа больших размеров. Однако радионаблюдения показывают, что этот газ, излучающий яркие линии, составляет лишь малую долю массы всего объекта. Основная же масса приходится на долю холодного газа и звезд.

Было предложено два объяснения феномену голубых галактик с интенсивным звездообразованием. Во-первых, они могут быть очень молодыми галактиками, возникающими буквально «на наших глазах». Поэтому в них идет бурное образование звезд, но газа осталось еще очень много, а тяжелые химические элементы лишь недавно начали появляться при эволюции массивных звезд. Во-вторых (и об этом уже говорилось), dBC-галактики могут представлять собой карликовые неправильные галактики на стадии резкой вспышки звездообразования. Если таких вспышек за время жизни галактики было всего несколько, то тогда и тяжелые элементы не успели еще образоваться в достаточном количестве.

Между этими двумя предположениями сделать выбор нелегко. В некоторых случаях исследование спектров действительно дает свидетельство о существовании старых звезд, в некоторых — нет. С другой стороны, свечение старых звезд может безнадежно «тонуть» в море света, излучаемого молодыми горячими звездами.

Очень важно выяснить, происходит ли в настоящее время образование карликовых галактик или нет. С массивными галактиками дело обстоит яснее: это старые системы. Наблюдения отдельных звезд и звездных скоплений в нашей Галактике и сравнительно близких к ней галактиках определенно говорят об их большом возрасте, превышающем 10 млрд. лет. Анализ спектров излу-

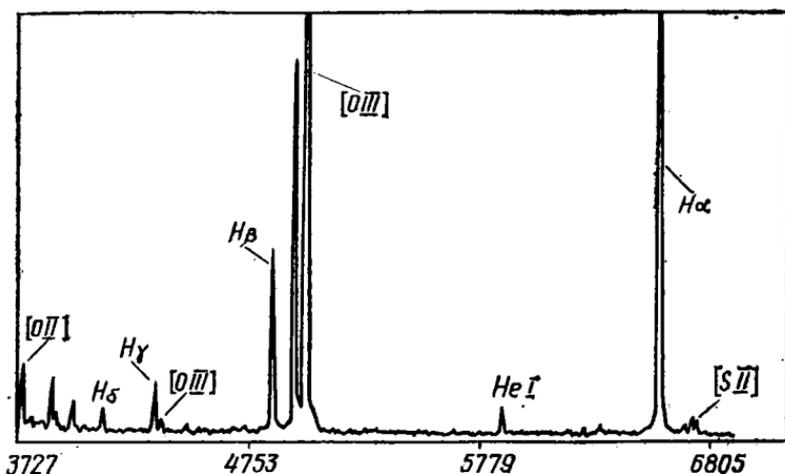


Рис. 4. Так выглядит запись спектра одной из ВС-галактик. Сильные эмиссионные линии связаны с присутствием большого количества горячего газа. Непрерывный спектр звезд галактики почти не заметен

чения более далеких галактик приводит к тому же выводу.

Теоретические расчеты звездных моделей галактик, объясняющие их интегральный спектр, хорошо согласуются с предположением о том, что все наблюдаемые галактики (или по крайней мере подавляющая часть галактики) имеют примерно одинаковый возраст 10—15 млрд. лет независимо от того, продолжается в галактике звездообразование или нет. Конечно, это не означает, что все галактики появились в один момент; ведь сам процесс формирования галактики должен занимать не менее нескольких сотен миллионов лет¹¹.

Принято считать, что галактики возникли из первоначальных небольших уплотнений газовой среды на раннем этапе расширения Метагалактики. Приблизительное равенство теоретически найденного времени расширения Метагалактики, с одной стороны, и оцениваемого (независимо) возраста галактик, с другой, служит хорошим

¹¹ По расчетам московского астрофизика О. К. Сильченко, различие цвета наблюдаемых эллиптических галактик одинаковой светимости допускает различие их в возрасте до нескольких миллиардов лет. Но в любом случае это старые галактики.

аргументом в пользу такого предположения. В настоящее время выдвинуто и разрабатывается несколько теоретических схем возникновения галактик из догалактической среды, хотя еще очень далеко до полной ясности в этом вопросе. И здесь было бы крайне интересно исследовать процесс образования некоторых галактик в современную эпоху, пусть даже не гигантских, а карликовых, но все же самостоятельных звездных систем.

В этом отношении одна из голубых компактных галактик подает особые надежды. Она имеет обозначение I Цвикки 18. Ее наблюдения с помощью радиоинтерферометра в Вестерборке позволили выявить, что она содержит примерно шесть массивных облаков межзвездного водорода и, по-видимому, еще не пришла в стационарное состояние. Вспышка звездообразования в ней началась менее 10 млн. лет назад, хотя наблюдения в инфракрасных лучах показали, что часть звезд существовала и до вспышки. Содержание тяжелых элементов в ней рекордно низкое. Так что, возможно, здесь мы действительно наблюдаем галактику в процессе формирования.

Неизвестно, как обстоит дело именно с этой галактикой, но касательно большинства dBC-галактик маловероятно, что они являются молодыми объектами. Если это было бы так, то изолированные облака холодного газа, способные образовать галактику, встречались бы значительно чаще в межгалактическом пространстве, чем они встречаются на самом деле. Отдельные мощные вспышки звездообразования в галактиках, которые, по сути, являются старыми, представляется автору более вероятным процессом. Будущие телескопы, способные запечатлеть и измерить цвет слабых звезд в dBC-галактиках, должны помочь узнать, есть или нет в этих галактиках давно успевшие состариться звезды или их скопления.

В любом случае исследование карликовых голубых галактик позволяют лучше понять, как образуются звезды в галактиках. Здесь этот процесс представлен как бы в предельно упрощенном, «рафинированном» виде. В самом деле, излучение этих галактик обусловлено почти исключительно молодыми объектами: массивными звездами и областями ионизованного газа. Сравнительно несложно измеряется и относительное количество тяжелых элементов — продуктов «жизнедеятельности»

звезд. Голубые галактики представляют собой как бы изолированные очаги образования звезд из вещества, еще не испытавшего сильной эволюции химического состава. Эти объекты могут служить настоящим пробным камнем для любой теории образования и ранних этапов эволюции звездных систем.

Правда, для того чтобы уточнить возраст и характерные темпы эволюций голубых карликовых галактик, мы должны знать количество и темпы образования не только самых ярких, но и более слабых маломассивных звезд, на долю которых во всех галактиках приходится основная масса звездного вещества. Для их наблюдений нужны новые поколения крупных астрономических инструментов,

Во всем мне хочется дойти
До самой сути.

Б. Пастернак

ВОПРОСЫ ОСТАЮТСЯ...

Автору в этой брошюре меньше всего хотелось убедить читателя в том, что с карликовыми галактиками проблема в целом ясна и осталось лишь кое-где уточнить общую картину и расставить все точки над *i*. Это в лучшем случае было бы самообманом. Рассказывая о карликовых галактиках, приходится чаще, чем того хотелось бы, употреблять слова: «по-видимому», «вероятно», «возможно». Ведь речь идет об объектах, массовое исследование которых лишь недавно началось, объектах, обладающих поразительным разнообразием всех свойств. И по возрасту, и по характеру эволюции, и даже по происхождению они могут отличаться как друг от друга, так и от тех галактик, которые принято считать нормальными.

Здесь рассказывалось о четырех разновидностях карликовых галактик, и для сравнения их важнейших особенностей в таблице приводятся их основные характеристики. Разумеется, данные о размерах и яркости карликовых галактик, помещенные в таблице, имеют лишь ориентировочный характер. Отдельные галактики выходят за приведенные пределы; более того, нет уверенности в том, что семейство карликовых галактик ограничивается выделенными разновидностями. Возможно, что

Основные характеристики карликовых галактик *

Тип	Характерный размер, тыс. клк	Характерная поверхностная яркость (в единицах яркости ночного неба)	Содержание межзвездного газа (% от массы галактики)	Звездообразование
dE	1—10	1—0,1	менее 0,1	Практически отсутствует
dSph	1—10	0,1—0,01	менее 0,01	Отсутствует
dIm	1—10	0,1—0,03	10—50	От очень слабого до активного
dBC	1—10	1—10	10—50	Активное

* Для сравнения приведем данные для нашей Галактики. Ее оптический диаметр принимают равным около 30 клк (хотя отдельные объекты, например звездные скопления, известны и за этими пределами). Средняя поверхностная яркость при наблюдении «извне» была бы близка к яркости «земного» ночного неба. На долю межзвездного газа приходится около 4% полной массы Галактики (включая гелий). Почти половину из этого количества составляет молекулярный водород H_2 . Содержание H_2 в карликовых галактиках не известно, и в таблице не учтено; есть, однако, основания считать, что полная масса межзвездного молекулярного водорода в них мала по сравнению с полной массой наблюдаемого атомарного водорода. Темпы звездообразования в Галактике умеренные: суммарная масса звезд, образующихся во всей Галактике за один год, составляет несколько масс Солнца.

существуют карликовые галактики, отличающиеся от всех рассмотренных здесь. Ведь многие галактики нам просто неизвестны, даже если они имеют доступную телескопам звездную величину.

Последнее может произойти как вследствие очень низкой поверхностной яркости, из-за которой галактику нельзя выделить на фоне неба, так и, наоборот, вследствие очень высокой поверхностной яркости, когда галактики небольших размеров не отличимы на фотографиях от обычных звезд, сотнями миллионов разбросанных по всему небу. В последнем случае лишь спектральные исследования, да и то не всегда, могут показать, что перед нами не звезда, а далекая звездная система.

В связи с этим стоит сказать несколько слов об исследовании, проведенном астрономом из ГДР Н. Рихтером. По его мнению, многие галактики, наблюдающиеся в скоплениях, могут быть неотличимыми от слабых красноватых звездочек. Он тщательно исследовал изображения звезд на двух фотопластинках, полученных на Таутенбургской обсерватории в ГДР, на которых было сфотографировано одно из скоплений галактик вблизи галактического полюса (т. е. там, где звезд нашей Галактики сравнительно мало), и соседняя область неба, без следов скопления. На каждой пластинке были найдены десятки слабых красных звезд, но, что удивительно, на фотопластинке со скоплением галактик этих звезд оказалось вдвое больше.

Если это не случайная флуктуация и не система звезд нашей Галактики с таким необычным цветом, то приходится считать, что в скоплении много компактных красных карликовых галактик (новая разновидность!), которые маскируются под одиночные звезды. Насколько известно автору, спектральных исследований этих «звезд» не проводилось, и действительно ли многие из них являются галактиками — неизвестно.

Разнообразие свойств карликовых галактик позволяет некоторым из них скрываться и среди галактик других типов. Примеры подобного рода были обнаружены при исследовании очень интересных систем — так называемых гнезд галактик, которые обнаружены и впервые были описаны Б. А. Воронцовым-Вельяминовым. Это тесные взаимодействующие системы, состоящие из нескольких очень близко расположенных галактик, часто соприкасающихся (или почти соприкасающихся).

друг с другом. На фотографиях они обычно выглядят как несколько светлых конденсаций (галактик), погруженных в общий светящийся звездный туман.

Такие системы должны очень быстро динамически эволюционировать (сливаться или разлетаться), поэтому их исследование представляет особый интерес¹². Но пока спектр гнезд галактик неизвестен, остаются неясными расстояния до них, а следовательно, и размеры, светимости и другие важнейшие характеристики.

Были предприняты спектральные наблюдения этих систем с помощью советского 6-метрового рефлектора, которые показали, что ряд гнезд галактик действительно состоят из близких друг к другу галактик высокой светимости, сильно взаимодействующих между собой. Однако среди них оказались и другие системы, у которых лучевые скорости очень малы, а следовательно, малы и расстояния. Такие гнезда вращаются как единое тело, а не как совокупность отдельных галактик.

Судя по массе и светимости, в этих случаях перед нами не гнезда галактик, а маленькие галактики с отдельными яркими областями, где находятся горячий межзвездный газ и молодые звезды, т. е. имеются очаги интенсивного звездообразования. Следуя нашей схеме, мы могли бы формально отнести эти объекты к карликовым неправильным галактикам, хотя они отличаются от большинства галактик этого типа клочковатым видом и высокой яркостью отдельных «пятен», из-за которой они и были приняты вначале за системы из нескольких близких галактик.

Так почему же карликовые галактики такие разные?

Очень часто (но не всегда) они располагаются недалеко от галактик-гигантов. Быть может, их непохожесть связана с различными воздействиями, которые оказывает на них массивный сосед. Во многих случаях влияние большой галактики на карликовый спутник действительно очень велико и это непосредственно наблюдается: мощные приливные возмущения могут даже не карликовую галактику превратить в карликовую.

Подобное, видимо, произошло с галактиками М 32 и NGC 205, спутниками Туманности Андромеды, о которых рассказывалось раньше. От галактики NGC 205 отходят

¹² См.: Метлов В. Г. Взаимодействующие галактики. М., Знание, 1983.

очень слабые спиралевидные полосы — одна в сторону Туманности Андромеды, другая в противоположную. Похоже, что эта галактика продолжает терять свои звезды в гравитационном поле Туманности Андромеды.

Что же касается M 32, то эта маленькая компактная эллиптическая галактика очень похожа на яркую центральную область «нормальной» эллиптической галактики, успевшей потерять звезды, находившиеся во внешних частях. Миллиарды лет назад ее размер, вероятно, был значительно больше.

Есть еще один путь формирования карликовых галактик при взаимодействии гигантских систем. Приливные воздействия галактик друг на друга могут в ряде случаев приводить к частичному разрушению одной или обеих галактик, при котором вещество периферийных областей галактик оказывается в межгалактическом пространстве. При этом отдельные скопления звезд или наиболее плотные системы из газа и звезд могут сохраниться, превратившись таким образом в карликовые галактики.

Так что же представляют собой карликовые галактики? Самостоятельно образовавшиеся галактики маленькой массы? Или это своего рода «отходы производства» при образовании галактик-гигантов? А, может, это «нормальные» галактики, претерпевшие в течение жизни сильные изменения из-за действия внутренних или внешних сил? Или просто продукт разрушения других галактик?

Скорее всего возможны все эти варианты. Причем чаще всего мы не знаем, какой из них «сработал» в том или ином случае, а иногда можно даже подозревать существование и других, более неожиданных вариантов их происхождения. В этом убеждает, например, совершенно необычная система карликовых неправильных галактик вокруг пары взаимодействующих галактик южного неба — галактики NGC 5291 и сливающегося с ней небольшого спутника (она изображена на первой странице обложки).

В конце 70-х годов две группы западноевропейских астрономов, исследовавших небо Южного полушария, независимо друг от друга обнаружили вокруг упомянутой пары галактик, находящейся на периферии небольшого скопления галактик, большое число карликовых объектов различных размеров и форм, похожих на dIm-галак-

тики. По оценкам одной из групп ученых, на хороших фотографиях, полученных с помощью большого телескопа, можно насчитать сотни отдельных карликов.

Самые яркие из них имеют звездную величину 17^m и размер в 5—7 кпк, а самые слабые с трудом отличимы от едва заметных слабых звездочек на фотографиях, поскольку их угловой размер не превышает $2'$. Большая часть этих карликов разбросана не хаотично, а образует две широкие полосы, идущие до расстояний примерно 150 кпк к северу и к югу от центральной галактики.

На крупных оптических телескопах в Чили и Австралии были проведены специальные исследования непонятных карликовых объектов. Подтвердилось предположение о проходящем в них звездообразовании. В одном из объектов был даже обнаружен заметный дефицит тяжелых элементов в межзвездном газе, нагретом горячими звездами. Похоже, что мы наблюдаем выброс из взаимодействующих галактик облаков газа с продолжающимся звездообразованием.

Однако измерение скоростей показало, что никаких быстрых, «взрывных» движений в системе карликовых галактик нет. Если они действительно образовались в результате выброса вещества, то он должен быть связан не со взрывом, а с действием приливных сил между большими галактиками. Подобные примеры среди взаимодействующих галактик известны. Но и с этим объяснением возникли большие трудности.

Дело в том, что чем больше относительные скорости взаимодействующих галактик, тем слабее разрушающее влияние приливных сил на их структуру. А в данном случае разность скоростей галактик, вокруг которых разбросаны карлики, очень велика — около 600 км/с. Поскольку галактики принадлежат скоплению, само значение скорости не кажется удивительно большим, но как совместить его с картиной разрушающейся галактики?

Наблюдения этой удивительной системы галактик в линии излучения холодного водорода, проведенные с помощью крупного австралийского радиотелескопа, показали, что общая картина здесь еще более сложная и интересная, чем можно было подумать с самого начала. Оказалось, что с центральной галактикой (NGC 5291) связана гигантская масса водорода — почти 100 млрд. M_{\odot} . Это, пожалуй, рекорд. В нашей Галактике, которую трудно назвать бедной межзвездным газом, водорода

меньше, причем не в 2 или 3 раза, а в несколько десятков раз. Правда, в случае галактики NGC 5291 газ располагается в основном не внутри галактики, а за ее оптическими границами и прежде всего в той области, где наблюдаются карликовые галактики.

Холодный газ не может долгое время окружать галактику со всех сторон — он быстро упадет на галактику, поскольку она его притягивает. Иное дело, если газ вращается вокруг галактики. Тогда он неизбежно соберется в большой диск, совершающий полный оборот за сотни миллионов лет. Не являются ли наблюдаемые карликовые объекты деталями этого диска?

Сопоставление их лучевых скоростей и скорости газа хорошо согласуется с этим предположением. Следовательно, объекты, считаемые карликовыми галактиками, по-видимому, являются в действительности отдельными областями внутри газового диска, в которых в настоящее время происходит звездообразование. Оно, возможно, возбуждается давлением на диск со стороны разреженной межгалактической среды. Будущие исследования должны помочь разобраться в природе этих странных объектов.

Интересно, что внешне похожая, только меньшая по размеру система карликовых областей звездообразования, связанная с холодным газом, обнаружена В. Е. Караченцевой и И. Д. Караченцевым с помощью 6-метрового рефлектора в области спиральной галактики M 81. Несмотря на значительное расстояние, на фотографиях карликовых галактик заметны наиболее яркие звезды (голубые сверхгиганты). Окрестности M 81 вообще оказались богатыми интересными карликовыми галактиками. Например, там Караченцевы обнаружили целое скопление из 11 слабых dSph-галактик, сконцентрированных в области примерно такого размера, какой обычно занимает одна гигантская галактика.

Очевидно, что эти карлики связаны общностью происхождения, но как мог возникнуть такой «букет»?

Изучение карликовых галактик — это не только поиски ответа на вопрос об их образовании. Мы уже знаем, что эти объекты можно рассматривать как пробные «частицы», чутко реагирующие на присутствие газовой среды, и как потенциальные переносчики газа, запасы которого они готовы отдать большой галактике, если заденут ее в своем движении, и, наконец, как области,

удобные для исследования процессов звездообразования и связанных с ним явлений.

Не менее важным оказалось и то, что с помощью карликов в принципе можно измерять полную массу тех больших галактик, вблизи которых они наблюдаются. Причем чем больше масса основной галактики, тем быстрее движутся ее карликовые спутники и тем легче они поддаются разрушению ее гравитационным полем.

Вообще говоря, с измерением полных масс галактик не все еще благополучно. Ранее уже упоминалась проблема «скрытой массы» — невидимого вещества, находящегося за пределами оптических границ галактик. Оценки массы этого невидимого вещества очень противоречивы, но с проблемой его существования астрономы сталкиваются очень часто, причем при исследовании галактик любых типов. Его присутствие предполагается даже там, где и совсем не видно ярких галактик (в межгалактическом пространстве, в скоплениях галактик или в облаках межгалактического газа).

Как уже отмечалось, в 1983 г. было обнаружено гигантское облако межгалактического водорода, внутри которого не имеется никаких следов присутствия там звезд. Оно находится в довольно разреженной группе нормальных галактик в созвездии Льва, на расстоянии около 10 Мпк от нас. Обнаружили облако, можно сказать, случайно. При безуспешной попытке с помощью 305-метрового радиотелескопа уловить слабое излучение водорода от одной из далеких галактик радиотелескоп по воле случая оказался направленным на край облака.

Размеры (около 50 кпк) и масса (около 1 млрд. М_с) обнаруженного облака поразили ученых. Но еще более удивительным оказалось то, что различные части облака имели отличающиеся скорости. Похоже, что облако вращается, а в этом случае довольно просто оценить его массу. Но при этом оказалось, что она примерно в 100 раз больше массы газа, составляющего облако. Какому же тогда веществу принадлежит эта масса?

Возможно, конечно, что никакой «скрытой массы» здесь нет. Облако просто нестационарно и сейчас расширяется. Однако в этом случае возникает еще более сложная проблема: где расположен источник расширяющегося газа, почему его не видно там, где находится облако?

В настоящее время продолжается дискуссия о том,

существуют ли массивная невидимая корона и гало вокруг нашей Галактики. И здесь особое значение также имеют наблюдения ближайших к нам карликовых систем, которые испытывают на себе действие гравитационного поля Галактики. Могут ли, например, выжить dSph-галактики на тех расстояниях, где они наблюдаются, если массивная корона действительно существует?

Расчеты позволяют оценить ту плотность массы карликовых галактик, при которой они не будут разрушены приливными силами. Но при этом остается узнать, какова плотность таких галактик на самом деле. Для этого надо измерить скорости движения отдельных звезд в самых разреженных dSph-галактиках и по ним оценить массу галактик. Однако возникшая задача оказалась очень сложной, ведь, как мы помним, самых ярких звезд (голубых сверхгигантов) в таких галактиках не наблюдается, и приходится иметь дело с красными звездами со звездными величинами 17—18^m.

Тем не менее недавно с помощью многозеркального телескопа (прообраза инструментов будущего поколения) М. Ааронсон смог с рекордно высокой точностью (около 1 км/с) измерить скорости четырех отдельных звезд в dSph-галактике из созвездия Дракона. Он пришел к выводу о сравнительно высокой плотности этой звездной системы, при которой наша Галактика, даже обладая массивной короной, не может ее разрушить. Однако галактика в созвездии Дракона относится к числу «призрачных» галактик крайне низкой поверхностной яркости, и если полученная оценка верна, то в этой галактике должно быть очень много (около 90% по массе) невидимого вещества.

Правда, вряд ли можно считать уверенными оценки, сделанные по нескольким, очень слабым и медленно движущимся звездам. Если даже одна или две из них входят в состав звездных пар или группировок, это приводит к совершенно неверным выводам относительно скорости их движения в гравитационном поле галактики: и масса, и плотность массы всей звездной системы окажутся сильно завышенными. Таким образом, требуются дополнительные и более многочисленные наблюдения.

Кстати, очень скоро была предпринята вторая попытка решить проблему. На этот раз наблюдались не отдельные звезды, а несколько шаровых звездных скоплений в самой крупной из dSph-галактик, уже знакомой

нам системе в созвездии Печи. Измерения, проведенные Дж. Кохен, показали, что дисперсия скоростей звездных скоплений не превышает ошибку измерений (около 10 км/с). Она приводит к выводу, что следов «скрытой массы» в данной галактике не имеется (а это ставит под сомнение и наличие массивной короны у нашей Галактики). Проблема пока остается, но ясно, что именно карликовые галактики могут дать ключ к решению проблемы «скрытой массы».

Хотелось бы обратить внимание еще на один круг вопросов, решению которых могут помочь исследования карликовых галактик. Речь идет о различных проявлениях взаимодействия между сравнительно близкими друг к другу галактиками.

Возникновение тех или иных особенностей, характерных для взаимодействующих галактик, объясняется прежде всего гравитационным воздействием галактик друг на друга. Однако далеко не всегда наблюдаемую картину взаимодействия можно свести лишь к проявлению гравитации. Удивительно, например, что в ряде случаев заметные искажения формы галактик, асимметрия в распределении межзвездного газа в галактике, газозвездные рукава, уходящие в межгалактическое пространство, наблюдаются у галактик, рядом с которыми нет других объектов, кроме карликовых спутников.

Примерами здесь могут являться известная спиральная галактика М 101, от которой тянется длинный газовый рукав к небольшой галактике неправильной формы, а также сравнительно близкая к нам спиральная галактика NGC 1512, активно взаимодействующая с карликовым эллиптическим спутником NGC 1510. Какую роль играют в этих случаях карликовые галактики?

Их исследование должно помочь объяснению тех причин, которые приводят к появлению необычных форм или структурных особенностей галактик. В связи с этим любопытен пример упоминавшейся пары NGC 1510/1512. Карликовая галактика NGC 1510 выглядит на фотографиях как компактная, почти круглая по форме эллиптическая галактика, напоминающая известную dE-галактику М 32 (спутник Туманности Андромеды). Однако, как было обнаружено в 70-х годах, в отличие от последней, эта галактика имеет голубой цвет, свидетельствующий об активном звездообразовании, так что ее, по-видимому, следует отнести к dBC-галактикам.

Дальнейшие исследования показали, что NGC 1510 отличается от эллиптических галактик не только голубым цветом. Она имеет и необычную структуру: несколько выделяющихся по яркости пятен в центральной области (кратное ядро?) и слабые звездные дугообразные детали на периферии. Наконец, в галактике есть вращающийся слой газа. Было выдвинуто предположение, что NGC 1510 — совсем недавно сформировавшаяся карликовая эллиптическая галактика.

Не связано ли ее образование тогда с наличием большого количества газа (около 10 млрд. M_{\odot}), который, как показали радионаблюдения, окружает галактику NGC 1512, «захватываемая» и ее карликовый спутник?

В 1984 г. У. Эйхендорф и Дж. Ньюто опубликовали результаты фотометрических и спектральных наблюдений маленькой галактики. Они показали, что яркие пятна в центре галактики — это области звездообразования, содержащие ионизованный газ и горячие звезды. Обнаружено и присутствие звезд спектрального класса А, по-видимому, являющихся более старыми. В то же время общее распределение звезд в галактике похоже на наблюдаемое в обычных эллиптических галактиках.

Эти данные поддерживают предположение (пока только предположение) о том, что необычные свойства галактики вызваны ее движением в газовом облаке. Газ внутри галактики был захвачен ею из окружающей среды, он и ответствен за происходящее звездообразование.

Конечно, далеко не всегда взаимодействующие галактики окружены общим газовым облаком. Приведенный пример лишь показывает, что могут существовать сложные взаимодействующие системы «галактика — газ — галактика», в которых важную роль играет присутствие межгалактической среды, влияющей в первую очередь на карликовые системы.

Наблюдения галактик-карликов иногда используются и для решения таких задач, которые на первый взгляд не имеют к ним никакого отношения. К ним, например, относится выяснение химического состава догалактического газа. Из теоретической модели горячей Вселенной следует, что практически только два химических элемента, водород и гелий, могли образоваться без помощи звезд, на ранней стадии расширения Метагалактики.

За миллиарды лет звезды изменили химический состав вещества. Но для теоретиков важно знать, каково

было относительное содержание гелия до того, как в галактиках появились первые массивные звезды. Тут и могут помочь карликовые галактики, точнее, те из них, где газ еще не испытал сильного «обогащения» тяжелыми элементами, т. е. карликовые галактики.

Сопоставление содержания гелия в них с содержанием тяжелых элементов заведомо «звездного» происхождения позволило найти ту часть гелия, которая возникла в результате эволюции звезд. Остальная часть (догалактический гелий) составляет, по оценке американских астрофизиков Ж. Кунца и У. Саржента, 23% по массе от водорода. Чтобы столько гелия образовалось в начале расширения Вселенной, ее средняя плотность согласно расчетам в настоящее время не должна превышать $5 \cdot 10^{-28}$ кг/м³. Это значение согласуется с так называемой открытой моделью Вселенной, согласно которой ее расширение никогда не сменится сжатием.

Полученные оценки еще нуждаются в проверке и пока носят лишь предварительный характер. Мы привели их лишь для того, чтобы показать, какую важную роль в исследовании Вселенной могут играть карликовые галактики. Неудивительно, что их пестрый мир привлекает все растущее внимание астрономов — как наблюдателей, так и теоретиков. Даже если отвлечься от использования карликов для решения глобальных проблем эволюции вещества, можно сказать, что эти объекты очень интересны и сами по себе. Именно это и стремился прежде всего показать автор. А нерешенные вопросы... они будут всегда.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Засов А. В. Галактики. М., Знание, 1976.
Озерной Л. М. Происхождение и жизнь галактик. М., Знание, 1978.
Метлов В. Г. Взаимодействующие галактики. М., Знание, 1983.
Псковский Ю. П. Соседи нашей Галактики. М., Знание, 1983.
Ефремов Ю. Н. В глубинах Вселенной. 2-е изд. М., Наука, 1983.
Засов А. В., Дибай Э. А., Аракелян М. А. Проблемы внегалактической астрономии. М., ВИНТИ, 1981.

НОВОСТИ АСТРОНОМИИ

ОБНАРУЖЕНИЕ САМОГО МОЩНОГО КВАЗАРА

Этому событию предшествовали обыденные и неторопливые исследования по оптическому отождествлению радионисточников, но именно так в астрономии порою приходят к сенсационным открытиям. Заурядный радионисточник с плотностью потока всего 0,55 Ян был один из многих зарегистрированных во время обзора неба на частоте 5 ГГц и вошел в общий каталог этого обзора под обозначением S5 0014+81. Впоследствии его в числе других исследовали при помощи мощного радиотелескопа VLA на той же частоте 5 ГГц с целью определения возможной радиоструктуры. Однако он оставался неразрешенным, и тогда после оптического отождествления он в числе других 37 радионисточников из первоначального каталога обзора подвергся спектроскопическому изучению, которое должно было выяснить, не являются ли эти источники квазарами. Причем для этого использовался не столь уж крупный для настоящего времени 2,3-метровый телескоп Стюардской обсерватории. Сначала Х. Кюр, Дж. Либерт, П. Стритматтер и Г. Шмидт (Astrophys. J. Letts, 1983, т. 275, № 2) обследовали S5 0014+81 в диапазоне длин волн 380—630 нм и обнаружили довольно сильную эмиссионную линию близ длины волны 535 нм. Некоторые особенности спектра сразу же навели на мысль, что квазар должен обладать весьма высоким красным смещением z . Затем обследовался диапазон длин волн 680—843 нм, и были выявлены еще две линии излучения, несколько более слабые, чем на длине волны 535 нм. После отождествления спектральных линий стало ясно, что выявлен один из самых далеких квазаров, поскольку он обладал красным смещением $z=3,4$. Это, конечно, не рекорд, так как самым большим красным смещением ($z=3,8$) обладает квазар PKS 2000—330. Но квазаров с $z>3$ весьма мало, все они обладают достаточно своеобразными свойствами, выделяясь в этом среди других квазаров, помимо большого красного смещения. Однако квазар S5 0014+81 необычно мощным своим излучением резко отличается от всех других квазаров с $z>3$. Дело в том, что в оптическом диапазоне его видимая звездная величина составляет около 16^m , а при $z=3,4$ это соответствует рекордной абсолютной звездной величине -33^m . Иначе говоря, в оптическом диапазоне мощность его излучения превышает 10^{48} эрг/с, т. е. только в оптическом диапазоне он излучает столько же, сколько 10 000 таких галактик, как наша, во всем диапазоне электромагнитного спектра. А по всей видимости, он столь мощно излучает и в остальных областях спектра, во всяком случае в радиодиапазоне он в этом не уступает самому мощному из известных до этого радионисточников — квазару PKS 0438—43. Итак, обнаружен весьма уникальный объект во Вселенной, самый мощный из всех. Надо сказать, что столь же мощное излучение было характерно для ряда квазаров во время их вспышечной активности. Но такие вспышки кратковременны, тогда как квазар S5 0014+81, подобно другим с $z>3$, не проявляет вспышечной активности в оптическом диапазоне и высвечивает гигантское количество энергии постоянно.

ШАРОВЫЕ СКОПЛЕНИЯ В ДВУХ ГАЛАКТИКАХ

Шаровые звездные скопления, насчитывающие до нескольких сотен тысяч звезд, можно наблюдать не только в нашей, но и других галактиках, даже если те находятся далеко за пределами Местной группы галактик. Недавно впервые была исследована система шаровых скоплений в известной спиральной галактике «Сомbrero» (NGC 4594), характеризующейся очень мощной сфероидальной составляющей и диском, который нам виден «с ребра». На фотографиях, полученных в ночи с очень хорошими изображениями звезд, было выявлено около 1200 шаровых скоплений, принадлежащих этой галактике. Исследование распределения скоплений по радиусу галактики показало, что за исключением самой внутренней области пространственная плотность скоплений падает с удалением от центра точно так же, как и плотность сфероидальной звездной составляющей (гало). А это указывает на тесную связь между ними (Astron. J., 1984, т. 89, № 2). Если измерить скорости движения шаровых скоплений в галактике, то можно вычислить ее массу. Но спектры шаровых скоплений не содержат эмиссионных линий, и оценка их скоростей по доплеровскому смещению линий представляет собой сложную задачу. Ее удалось решить для галактики, более близкой к нам, чем «Сомbrero», — для радиогалактики Центавр А (NGC 5128). Это необычная эллиптическая галактика с активным ядром, содержащая, в отличие от «нормальных» эллиптических галактик, много газа и пыли. С галактикой связаны области мощного радиоизлучения. По имеющимся оценкам, расстояние до нее составляет около 5 Мпк. Измерение скоростей 20 шаровых скоплений галактики показало, что ее масса в пределах радиуса 36 кпк составляет гигантскую величину — 1600 млрд. M_{\odot} (Astrophys. J., 1984, т. 276, № 2). Отношение массы к светимости (M/L_{\odot}), выраженное в «солнечных» единицах, примерно равно 16. Анализ лучевых скоростей спутников этой галактики, наблюдающихся до расстояния 350 кпк, привел авторов к выводу, что значительная часть массы галактики находится за пределами тех расстояний, на которых наблюдаются шаровые скопления, т. е. там, где оптическое излучение галактики почти отсутствует. Сравнение светимостей шаровых скоплений Центавра А и галактик Местной группы (включая нашу галактику) показало, что они, возможно, неодинаковы: ярчайшие скопления в радиогалактике имеют светимость, примерно на 1^m (т. е. в 2,5 раза) более высокую. Но возможно и иное объяснение: светимости скоплений сходны, а неверно лишь принимаемое расстояние до Центавра А (на самом деле оно может составлять 5 Мпк, а не 3 Мпк). Если это так, то эта уникальная радиогалактика находится совсем «близко»: всего в 4—5 раз дальше от нас, чем Туманность Андромеды.

КОРОНА ГАЛАКТИКИ И ЕЕ РАЗМЕРЫ

В 1976 г. советский астроном Я. Э. Эйнасто предположил, что наша Галактика имеет массивную, но невидимую составляющую — корону, которая простирается по крайней мере на расстояние около 100 кпк от галактического центра. Таким образом, именно в среде этой короны движутся спутники нашей Галактики — Магеллановы Облака, а также несколько карликовых галактик и около десятка шаровых скоплений, находящихся за пределами галактического гало.

В настоящее время появляется все больше свидетельств в пользу этого предположения, но в связи с этим возникает вопрос о точном размере такой короны, т. е. о радиусе сферы удержания вещества короны Галактикой. Интересно, что, когда Я. Э. Эйнасто выдвинул свое предположение, астрономы обнаружили объект, который, как сейчас полагают, позволяет более определенно ответить на поставленный вопрос. Этот объект, обозначенный вначале как E1, был настолько слаб, что о нем почти ничего нельзя было сказать. Однако А. Лаубертс, один из обнаруживших его астрономов, высказался в пользу того, что E1 является далеким шаровым скоплением. Три года спустя аналогичный вывод сделали Х. Арп и Б. Мадор, оценив его расстояние в 300 кпк и переобозначив объект как AM1. Таким образом, объект был причислен к очень немногим далеким изолированным шаровым скоплениям в Местной системе галактик, но находящихся за пределами короны Галактики. Однако совсем недавно М. Ааронсон, Р. Шоммер и Э. Олжевски провели исследование E1-AM1 с помощью 4-метрового телескопа и обнаружили, что он находится гораздо ближе, чем предполагали (*Astrophys. J.*, 1984, т. 276, № 1). Во-первых, было подтверждено, что это шаровое скопление, а, во-вторых, более точный расчет его расстояния до нас дал величину 118 кпк. И здесь сразу же возник вопрос, не принадлежит ли шаровое скопление короне Галактики, поскольку данный Я. Э. Эйнасто размер короны (100 кпк) весьма условен. Чтобы выяснить это, необходимо определить траекторию движения шарового скопления, что, помимо элементов орбиты, даст и некоторые сведения о массе короны. В настоящее время эта задача решается, и в будущем, видимо, будет дан ответ и относительно реальных размеров короны Галактики.

ЕЩЕ ОДИН СПУТНИК НАШЕЙ ГАЛАКТИКИ?

Говоря о спутниках Галактики, обычно имеют в виду Магеллановы Облака, хотя известно уже около 15 карликовых галактик в окрестностях нашей звездной системы, причем некоторые из них находятся даже ближе к Галактике, чем Магеллановы Облака. Однако последние настолько выделяются по своим массе и размерам, что карликовыми галактиками, может и незаслуженно, но часто пренебрегают как спутниками. И правда, не считать же спутниками нашей Земли чрезвычайно разреженные облака пыли, которые, возможно, находятся в либрационных точках в системе Земля — Луна (так называемые облака Кордылевского). Кроме того, несомненное богатство звездного мира в Магеллановых Облаках по сравнению со звездным населением карликовых галактик позволяет их отнести, так сказать, к «нормальным» галактикам, что и дает право говорить о существовании тройной системы «нормальных» галактик: нашей Галактики и Магеллановых Облаков. Во всяком случае речь здесь пойдет о возможном обнаружении еще одной «нормальной» галактики в окрестности нашей звездной системы. Но как же получилось, что третий спутник не был обнаружен раньше, ведь по своим массе и размерам он должен намного превосходить карликовые галактики? Дело все в том, что, по мнению Д. Матьюсона и В. Форда (*Sky and Telescope*, 1984, т. 67, № 4), Малое Магелланово Облако на самом деле представляет собой не одну, а две галактики, которые проецируются на небе друг на друга. Австралийские ученые пришли к такому выводу после проведенных ими наблюде-

ний нейтрального водорода в линии 21 см, локализованного в Малом Магеллановом Облаке. Вновь подтвердился уже известный ранее факт о наличии двух гигантских областей нейтрального водорода с двумя различными доплеровскими смещениями радиолинии, что соответствовало разнице в скоростях относительного движения областей нейтрального водорода примерно в 30 км/с. Однако Д. Матьюсон и В. Форд не приняли распространенную точку зрения о том, что все это вызвано наличием двух гигантских облаков нейтрального газа в одной галактике, а предположили проявление здесь двух раздельно существующих звездных систем. Но одного предположения недостаточно, нужно было его и обосновать. И это вполне удалось, когда австралийские ученые обнаружили, что ту же разницу в скоростях относительного движения имеют области ионизованного водорода (области HII), планетарные туманности и, наконец, некоторые звезды. Вполне понятным стало и то, что оценки размеров Малого Магелланова Облака вдоль луча зрения давали необъяснимую вытянутость галактики в этом направлении. Все это, естественно, свидетельствует в пользу наличия двух галактик, процирующих друг на друга в виде Малого Магелланова Облака, но на самом деле разделенных в пространстве расстоянием около 6 кпк. Причем, по оценке Д. Матьюсона и В. Форда, ближайшая из них на 25% менее массивна, чем более удаленная галактика. Правда, австралийские астрономы предполагают, что обе галактики все же представляли собой раньше одну звездную систему, которая была разорвана на две части при сближении с Большим Магеллановым Облаком 200 млн. лет назад.

ЗАГАДОЧНАЯ УГЛЕРОДНАЯ ЗВЕЗДА

Ее обнаружили случайно во время выполнения программы по отождествлению рентгеновских источников, зарегистрированных с помощью орбитальной обсерватории «Эйнштейн». Нет, не она оказалась источником рентгеновского излучения (им является, видимо, квазар, находящийся рядом на небе), но ее свойства сразу же привлекли внимание Б. Маргона и его соотрудников. Отождествление рентгеновских источников — довольно кропотливая работа, предусматривающая подробное спектроскопическое изучение оптических объектов, находящихся в пределах ошибки определения координат рентгеновского источника. С этой целью при помощи 3-метрового рефлектора Ликской обсерватории группа Б. Маргона получила спектры с разрешением 1 нм подозреваемых оптических кандидатов на отождествление. На сей раз спектр объекта в созвездии Весов явно указал, что выявлена так называемая углеродная звезда, но весьма слабая для этого типа звезд. Обычно углеродные звезды являются гигантами или сверхгигантами, а светимость их достаточно высока. Правда, известен один углеродный карлик (G 77—61), и вполне можно было допустить открытие еще одного углеродного карлика, находящегося где-то в галактическом диске на расстоянии 0,6 кпк от нас. Но когда просмотрели предыдущие данные об этой звезде за 25 лет, то обнаружилось пренебрежимо малое собственное движение звезды (т. е. ее угловое перемещение по небу), что, в общем-то, не характерно для рассматриваемого случая углеродного карлика. Осталось предположить, что углеродная звезда, наоборот, является обычным гигантом, но чрезвычайно удаленным от нас. Правда, такое предположение было проверено в пер-

вую же очередь, но полученный результат настолько настораживал, что ученые были более склонны считать звезду карликом, если бы не ее незначительное собственное движение, да еще ряд других данных. Ведь если обнаруженная звезда является углеродным гигантом, то расстояние до нее должно было бы по крайней мере равняться 125 кпк, а ее расстояние до центра Галактики соответственно 120 кпк. Но что тогда представляет собой эта звезда? Может, обнаружена одна из звезд галактической короны? Но простирается ли на это расстояние корона Галактики? Во всяком случае определение скорости ее движения по лучу зрения указывает на довольно слабое ее притяжение Галактикой. Обнаружилось, в частности, что она находится где-то на траектории движения Магеллановых Облаков около нашей Галактики. Может, звезда была выброшена когда-то одним из спутников Галактики? А может, обнаружена совсем уж призрачная карликовая галактика, в которой выявлена лишь одна эта углеродная звезда? Сообщение об этой углеродной звезде (Astron. J., 1984, т. 89, № 2) весьма интригует, и дальнейшие исследования звезды, естественно, должны решить многие проблемы — от размеров короны Галактики до связи звездного населения карликовых галактик и звездного состава этой короны.

КАКОВА МАССА СВЕРХНОВЫХ?

Жизненный путь звезд зависит от их массы. Если такие звезды, как Солнце или менее массивные, проходят его спокойно, то звезды больших масс могут на определенной стадии своей эволюции вспыхнуть как Сверхновые — взорваться с выделением колоссального количества энергии. Но какова масса взрывающихся звезд? Узнать это непосредственно из наблюдений Сверхновых нельзя: ни в одном случае звезда до вспышки не наблюдалась, да и сами вспышки Сверхновых в нашей Галактике — явление чрезвычайно редкое. Оценить массу звезд «предсверхновых» помогает то обстоятельство, что после вспышки звезды на многие тысячи лет остаются расширяющиеся газовые туманности — остатки Сверхновых. Многие из них наблюдаются в пределах нескольких килопарсек от Солнца и связаны с молодыми группировками звезд (ОВ-ассоциациями). Имеющиеся расчеты эволюции звезд позволяют оценить возраст звездных группировок, если известны спектральные классы и светимости отдельных звезд. Зная этот возраст, нетрудно найти нижний предел массы звезд ($M_{\text{мин}}$), которые успели за это время проэволюционировать (именно среди них должны находиться «предсверхновые»). Это и будет нижним пределом массы взрывающихся звезд. Исследования, проведенные советскими астрономами М. А. Смирновым и Д. Ю. Цветковым (Астрон. цирку., 1984, № 1984), показали, что для 15 остатков Сверхновых, связанных с группировками молодых звезд, среднее значение $M_{\text{мин}}$ составляет около 14 M_{\odot} , а наиболее вероятная масса «предсверхновых» — 20—30 M_{\odot} . Изучение положений остатков Сверхновых в соседней галактике, Большом Магеллановом Облаке, и нескольких галактиках сходного с ней типа показало, что почти во всех случаях, как и в нашей Галактике. Сверхновые вспыхивают в областях звездообразования и связаны с молодыми звездами, хотя и относятся в большинстве своем к так называемым Сверхновым I типа, которые обычно считались звездами с очень большим возрастом.

НОВОЕ О МЕЖЗВЕЗДНОМ ГАЗЕ В ГАЛАКТИКЕ

Еще лет десять назад считалось, что преобладающая масса межзвездного газа в нашей и других галактиках приходится на атомарный водород (H I) и гелий. Водород излучает в радиодиапазоне на длине волны 21 см, и с помощью радионаблюдений исследовалось его количество и распределение в Галактике. В плоскости галактического диска газ образует сравнительно тонкий, но расширяющийся к периферии слой, не однородный по плотности и температуре. Выказывалось, однако, предположение, что в холодных облаках газа атомы водорода могут объединяться в молекулы H₂ и «ускользнуть» от наблюдений, поскольку молекулярный водород не имеет радиолиний излучения. Но такие линии, как оказалось, имеют другие молекулы, находящиеся в межзвездном пространстве в тех же холодных областях, где можно ожидать и присутствия H₂. Радионаблюдения позволили обнаружить существование самых различных молекул — от простейших двухатомных до сложных органических молекул. Наблюдения в радиолиниях молекул позволяют исследовать распределение холодного газа в нашей Галактике. Обычно для этой цели используют молекулы CO, наблюдая их в линии излучения на длине волны 2,6 мм. Самый распространенный элемент в природе — водород, и поэтому молекул H₂ несравненно больше, чем молекул CO. Но соотношение между распределениями H₂ и CO известно, и отсюда можно узнать о массе и распределении H₂. Так было установлено, что в нашей Галактике масса молекулярного газа сопоставима с массой H I. Недавно были опубликованы новые данные по распределению CO и H₂ в Галактике, основанные на радионаблюдениях молекул CO в 2500 областях неба вблизи галактической плоскости, проводившихся на двух радиотелескопах диаметром 11' и 14 м (Astrophys. J., 1984, т. 276, № 1). Результирующая оценка полной массы H₂ в пределах радиуса 16 кпк составляет 3,5 млрд. M_☉, что примерно равно массе области атомарного водорода (3 млрд. M_☉). Однако распределение H₂ и H I вдоль радиуса Галактики совершенно различно. Молекулярный водород образует в Галактике широкое кольцо вокруг центра, наиболее плотная часть которого приходится на радиус 6 кпк. На этом расстоянии от центра плотность молекулярного водорода в 5 раз выше, чем атомарного. На радиусе 10 кпк (где находится Солнце) плотности H I и H₂ примерно сравниваются, а еще дальше от центра молекулярный газ практически исчезает. Помимо широкого кольца, молекулярный газ в Галактике образует вращающийся ядерный «диск», не совпадающий с ядерным диском H I.

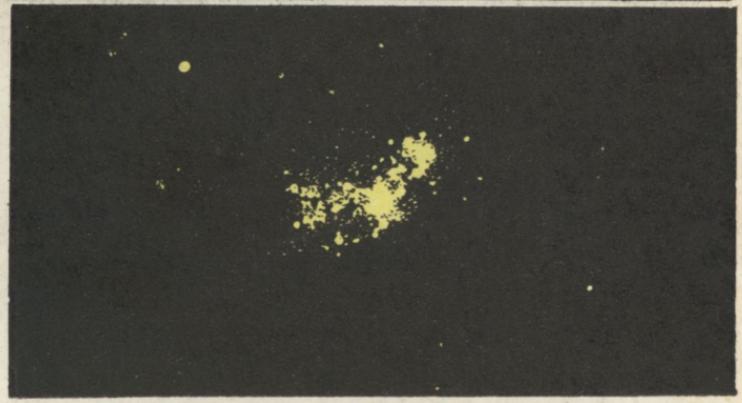
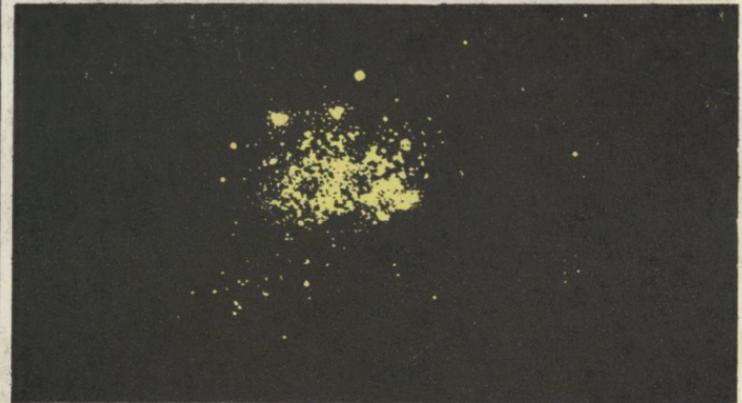
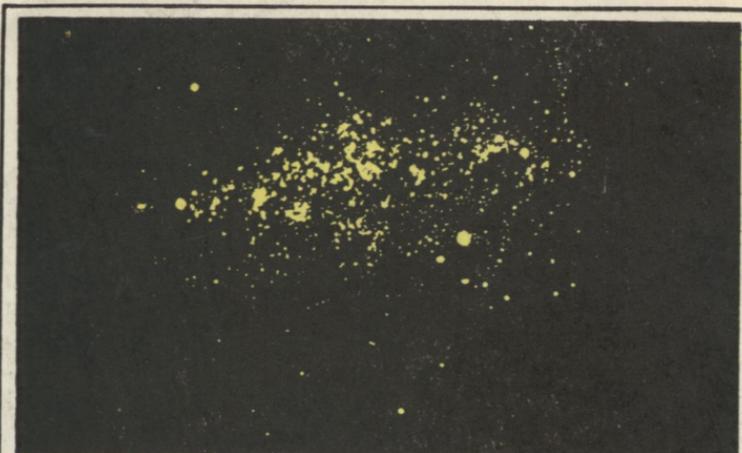
Анатолий Владимирович Засов КАРЛИКОВЫЕ ГАЛАКТИКИ

Гл. отраслевой редактор Л. А. Ералкин. Редактор Е. Ю. Ермаков. Мл. редактор Л. Л. Нестеренко. Обложка художника Л. П. Ромасенко. Худож. редактор М. А. Гусева. Техн. редактор Н. В. Лбова. Корректор И. В. Со-ржина.

ИБ № 6697

Слано в набор 21.05.84. Подписано к печати 09.07.84. Т 15505. Формат бумаги 84×108¹/₃₂. Бумага тип. № 3. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 3,36. Усл. кр.-отт. 3,57. Уч.-изд. л. 3,66. Тираж 27 570 экз. Заказ 1027. Цена 11 коп. Издательство «Знание». 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 844208.

Типография Всесоюзного общества «Знание», Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.



СЕРИЯ **КОСМОНАВТИКА,
АСТРОНОМИЯ**