

КОСМОНАВТИКА, АСТРОНОМИЯ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ



1983/2

В. Г. Метлов
ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИЕ
ГАЛАКТИКИ



ЗНАНИЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

**КОСМОНАВТИКА,
АСТРОНОМИЯ**

2/1983

Издается ежемесячно с 1971 г.

В. Г. Метлов,

кандидат физико-математических наук

**ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИЕ
ГАЛАКТИКИ**

в приложении этого номера:

НОВОСТИ АСТРОНОМИИ

ББК 22.632
М54

Метлов В. Г.

М54 Взаимодействующие галактики. — М.: Знание, 1983. — 64 с., ил. — (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Космонавтика, астрономия»; № 2).
11 к.

В брошюре рассказывается о взаимодействующих галактиках, обычном классе астрофизических объектов, обнаруженном сравнительно недавно. Несмотря на различные предположения об их происхождении, многое здесь остается неясным и приводит ряд авторов к заключению, что взаимодействующие галактики представляют собой принципиально новый тип объектов неизвестной нам природы.

Брошюра рассчитана на всех интересующихся современными проблемами астрофизики.

1705060000

ББК 22.632
527

ВВЕДЕНИЕ

С древнейших времен людей интересовали небесные объекты: что они собой представляют, на каких расстояниях находятся, каким образом их существование и свойства взаимосвязаны с тем, что происходит на Земле. Выдающиеся ученые древности высказывали различные догадки об этом, но они потом забывались или опровергались — человечество еще находилось на достаточно низкой ступени развития и не было подготовлено к правильному восприятию мира. Были даже выполнены конкретные оценки, например определены размеры Земли в предположении, что она имеет форму шара.

Общим направлением развития мировоззренческих представлений было построение различных систем мира, претендовавших на объяснение свойств всей Вселенной в целом. Умозрительно создавалась модель мира (Земля и Небо»), а затем путем логических размышлений делались выводы относительно того, какими свойствами в этой системе должны обладать отдельные объекты, как они движутся, как они взаимосвязаны друг с другом и т. д. Если удавалось объяснить как можно больше из того, что происходит на небе (например, движение планет), то система мира считалась верной.

Но всякий раз через некоторое время обнаруживалось что-нибудь новое, которое не укладывалось в рамки прежних представлений, где, казалось бы, все было ясно. Для объяснения этого нового требовалось не уточнение или дополнение общепринятой тогда системы мира, а полное ее разрушение, признание в корне неправильной, и при этом возникала необходимость поиска совсем новых путей к пониманию природы небесных объектов. Такая ситуация вызывалась тем, что, пы-

таясь понять строение мира и законы, управляющие им, человечество не имело действительных представлений о конкретных небесных объектах (планетах, звездах, Солнце и т. п.). А изучать и математически описывать движение светил по небу, даже и не зная, что они собой представляют и на каких расстояниях от нас находятся, можно было, не вдаваясь в «подробности».

Лишь в XVI—XVII вв. ситуация в корне изменилась, когда Коперник показал, что Земля движется вокруг Солнца, как и другие планеты, и не является центром мира. Однако и его учение могло предаться забвению, как это происходило с некоторыми высказываниями древних ученых, если бы не были сделаны открытия первостепенной важности в это же время. Великие географические открытия почти не оставили сомнений в том, что Земля имеет форму шара. Галилей, изучая небесные тела в свой телескоп, открыл новые объекты и явления, что позволило составить более или менее верные представления о планетах, Луне и Солнце. И наконец, открытие Ньютоном закона всемирного тяготения дало объяснение движению планет и Земли относительно друг друга и Солнца. Все это утвердило гелиоцентрическую систему Коперника в умах передовых людей того времени.

Еще в древние века, в период расцвета древнегреческой культуры и науки, возникло предположение о том, что Вселенная бесконечна, а видимые на небе звезды, вполне возможно, являются очень далекими объектами, подобно Солнцу. Дальнейшее развитие эта идея получила в учении Дж. Бруно (XVII в.), который полагал также, что у многих звезд имеются планеты, населенные разумными существами. Прогресс в инструментальном оснащении позволил астрономам уже в XVIII в. убедительно показать, что звезды — это действительно далекие солнца. Это, в частности, вытекало из попыток определить величину их параллактического смещения, т. е. кажущегося смещения на небе при наблюдениях с Земли, когда она находится в противоположных точках своей орбиты вокруг Солнца. Дело в том, что подобный метод используется геодезистами при определениях расстояний на Земле, когда измеряются направления на исследуемый объект из двух разных точек с известным расстоянием (базой) между ними.

В случае определения параллакс звезд в качестве

такой базы используется громадное расстояние — диаметр земной орбиты, составляющий около 300 млн. км (при этом наблюдения проводятся с интервалом в полгода). Несмотря на это, как показал в XVIII в. английский астроном Д. Баддлей, параллаксы звезд не превышают 1". А это означало, что расстояния до звезд по крайней мере в 200 000 раз превосходят расстояние от Земли до Солнца. Отсюда со всей определенностью следовало, что звезды — это не слабо светящиеся «точки», а громадные раскаленные тела.

В первой половине XIX в. известные астрономы и геодезисты В. Я. Струве и Ф. Бессель впервые точно измерили параллаксы некоторых звезд. Так были окончательно установлены масштабы межзвездных расстояний. Диаметры звезд, как оказалось, в десятки, сотни и тысячи раз превосходят диаметр Земли, а их светимости (т. е. количество энергии, излучаемой в единицу времени) в среднем равны светимости Солнца (хотя среди звезд есть и в сотни раз более слабые и в тысячи раз более яркие).

Многие астрономы XVIII—XIX вв. при наблюдениях в телескоп замечали, что звезды расположены на небе неравномерно, нередко концентрируясь в скопления, содержащие много звезд — от нескольких десятков до десятков тысяч. Если скопление достаточно далекое, то отдельные его звезды различаются лишь при наблюдениях в крупные телескопы, а в малый телескоп все они сливаются в одно светлое туманное пятно. Оказалось, что таких «пятен» существует много, впоследствии их назвали туманностями.

Было замечено, что часть туманностей имеет правильную форму: шара или сплюснутого со сжатием к центру эллипсоида. Можно было предположить, что такие объекты являются далекими звездными скоплениями. Но многие туманности имеют неправильную форму, наводившую на мысль, что это — облака межзвездного газа.

Кроме того, еще Галилей, наблюдая в телескоп, обнаружил, что Млечный Путь, эта светящаяся туманная полоса, пересекающая весь небосвод, состоит из множества очень слабых (далеких) звезд. И вообще, звезды на небе концентрируются к Млечному Пути. В конце XVIII — начале XIX в. все это детально исследовал выдающийся английский астроном В. Гершель, труды

которого стали новым крупным шагом к познанию Вселенной. С помощью собственноручно изготовленных телескопов он изучал расположение звезд на небе, выполнял кропотливую работу по подсчетам звезд вплоть до самых слабых, видимых в телескоп. В результате он пришел к выводу, что все наблюдаемые звезды, звездные скопления и туманности входят в огромную звездную систему — Галактику, размеры которой в тысячи раз превосходят средние расстояния между звездами, а также оценил количество звезд в ней (по современным данным их там более 100 миллиардов).

За пределами Галактики звезд практически нет, сама она имеет сплюснутую форму, наподобие диска. Наша Солнечная система находится внутри Галактики, и если смотреть в направлении пересечения неба плоскостью «диска», то наблюдается гораздо большее число далеких звезд (это и есть Млечный Путь), чем в направлении, перпендикулярном этой плоскости.

Пронаблюдав тысячи туманностей, В. Гершель пришел к выводу, что не все они являются далекими скоплениями звезд или облаками межзвездного газа, находящимися в нашей Галактике. Многие туманности имеют особую структуру: из их середины выходит несколько светлых спиральных ветвей, закручивающихся вокруг центрального сгущения—ядра. Такие спиральные, а также и многие эллиптические (разной сплюснутости) туманности как бы избегают полосу Млечного Пути, где их практически не видно. Все это позволило В. Гершелю предположить, что спиральные и эллиптические туманности являются галактиками — огромными и очень удаленными звездными системами, похожими на нашу Галактику. Громадные расстояния до них, во много раз превышающие размеры нашей Галактики, приводят к тому, что галактики видны лишь как слабые туманные пятна (только три из них наблюдаются невооруженным глазом: Туманность Андромеды и Большое и Малое Магеллановы Облака).

Но как не раз бывало в прошлом с великими идеями ученых, предположение В. Гершеля в течение более 100 лет оставалось лишь гипотезой и даже оспаривалось, поскольку в те времена нельзя было достоверно доказать внегалактическую природу изучавшихся туманностей. Многие ученые считали, что все видимые на небе объекты, в том числе и туманности, все-таки нахо-

дятся внутри нашей Галактики. Тем не менее именно В. Гершель впервые обратил внимание на то, что галактики порою встречаются парами и группами, имея при этом искаженный вид. Эти галактики впоследствии получили название взаимодействующих.

В конце XIX — начале XX в. в астрономии все более широкое распространение стали приобретать новые физические методы: фотография и спектральный анализ. Строились все более крупные телескопы. В 1919 г. шведский астроном К. Лундмарк, изучая Новые (особый тип вспыхивающих звезд) в Туманности Андромеды, оценил ее расстояние от нас, которое указало на внегалактическую природу этой галактики. Вскоре он же произвел фотографирование спиральной галактики М 33 в созвездии Треугольника и обнаружил отдельные звезды в ее периферийной части, а это позволяло предположить, что и вся она состоит из звезд.

Но наиболее убедительными в этом смысле были выводы американского астронома Э. Хаббла, который в 1923—1924 гг. на 2,5-метровом телескопе обсерватории Маунт-Вилсон получил фотографии Туманности Андромеды с невиданным до того качеством. На них были видны отдельные звезды, в том числе цефеиды — тип переменных звезд, для которых, по их наблюдениям в нашей Галактике и в Магеллановых Облаках, уже была известна зависимость периода изменения блеска от светимости. Был определен видимый блеск этих звезд в Туманности Андромеды и найдены их периоды, а следовательно, и истинная светимость, что давало оценку расстояния до этой галактики.

Как впоследствии выяснилось, расстояния между галактиками в среднем в 10—20 раз превышают их диаметр (в частности, Туманность Андромеды сравнима с нашей Галактикой по размерам и по количеству входящих в нее звезд). Результаты, полученные Э. Хабблом, окончательно подтвердили правильность предположения В. Гершеля о том, что спиральные туманности — это далекие системы типа нашей Галактики. Стало очевидным, что расстояния до слабых галактик, еле различимых в крупные телескопы, скорее всего, еще во много раз больше, чем до Туманности Андромеды, ближайшей к нам спиральной галактики. «Избегание» полосы Млечного Пути галактиками оказалось вызвано тем, что вблизи плоскости Галактики (т. е. в

направлении Млечного Пути) имеется значительное количество межзвездной пыли, поглощающей свет от далеких объектов.

Все эти данные были получены при помощи фотографии и использовании крупнейших телескопов того времени. Спектральный анализ позволил при помощи эффекта Доплера определять лучевые скорости движения небесных объектов, т. е. проекции их полных скоростей движения на луч зрения. Сразу было отмечено, что тела, принадлежащие к нашей Галактике (например, звезды), имеют скорости в пределах нескольких десятков и сотен километров в секунду. Галактики же движутся относительно нас в основном со скоростями в несколько сотен, тысяч и более километров в секунду. Такие величины скоростей были найдены американским астрономом В. Слайфером еще в 1912 г., но его выводы о внегалактической природе спиральных туманностей тогда мало кого убедили.

Кроме того, различие скоростей движения вещества в разных точках одной и той же галактики свидетельствовало о вращении многих из них. Как известно, и в нашей Галактике звезды (в том числе и Солнце с планетами), туманности и звездные скопления, а также различные другие объекты движутся вокруг ядра Галактики.

В 1929 г. Э. Хаббл, проанализировав (по данным В. Слайфера) лучевые скорости для галактик с известными до них расстояниями, нашел, что чем дальше от нас находится галактика, тем с большей скоростью она движется, причем в сторону от нас. Зависимость между этой скоростью и расстоянием оказалась линейной (закон Хаббла) с коэффициентом пропорциональности, называемым сейчас постоянной Хаббла. Эта зависимость выполняется лишь в среднем, т. е. статистически. В действительности же каждая галактика имеет либо несколько меньшую, либо несколько большую скорость, чем ей положено по этой зависимости. Эти остаточные скорости, отклонения от средней, даваемой зависимостью, называются пекулярными.

Закон Хаббла позволяет определять расстояния до далеких галактик с известными для них лучевыми скоростями, даже когда другие методы определения расстояний оказываются неприменимыми. Эффект движения галактик в соответствии с законом Хаббла еще на-

зывается красным смещением, поскольку скорости движения галактик направлены от нас, и в соответствии с этим линии в спектрах галактик смещены в длинноволновую, т. е. красную, область (эффект Доплера). Однако не следует думать, что мы находимся в некотором центре, от которого разлетаются все галактики. Просто происходит как бы расширение всей огромной системы, состоящей из множества галактик, вплоть до границ наблюдаемой части Вселенной.

Где же находится центр расширения, неизвестно, да и такого центра, как очевидно, вообще не существует. Так, например, если плотный рой пчел или мошкеры, летящий в воздухе, вдруг станет расширяться в объеме и делаться разреженным, то расстояние от каждого отдельного насекомого до всех остальных будет увеличиваться, даже если это насекомое находится не в центре роя.

По современным представлениям, расширение наблюдаемой части Вселенной происходит вследствие того, что все объекты, вплоть до самых удаленных галактик, возникли из вещества, громадные массы которого разлетелись 15—20 млрд. лет назад из некоторой небольшой области при грандиозном взрыве. Относительно того, как все это происходило, сейчас строятся различные гипотезы и теории, многие из которых противоречат друг другу. Решение этой проблемы относится к области космологии, которая занимается изучением происхождения и развития всей наблюдаемой сейчас Вселенной как единого целого.

Внегалактическая же астрономия, изучающая другие галактики и вообще все объекты, находящиеся за пределами нашей Галактики, за последние полвека выявила и объяснила многое, хотя немало осталось загадок и парадоксов. Было обнаружено, что галактики часто располагаются парами, группами или вообще группируются в большие скопления, содержащие сотни и тысячи галактик. Открыты квазары — объекты, излучающие нередко в сотни раз больше, чем целая галактика, состоящая из многих миллиардов звезд (видимо, это особо активные ядра галактик на ранней стадии своей эволюции). Большинство квазаров находятся на таких же расстояниях, как самые удаленные из известных галактик или еще дальше. Обнаружен разрежен-

ный межгалактический газ, заполняющий пространство между галактиками (чаще в их скоплениях).

Наблюдения с применением различных современных методов дали нам немало сведений о физических условиях во многих конкретных галактиках, об их строении и развитии. Исследованы различные типы галактик с интересными свойствами. В том числе галактики с активными ядрами, в которых происходит выделение энергии в особо больших масштабах, и взаимодействующие галактики, где две или несколько галактик расположены весьма близко друг к другу и сильно изменяют свою структуру и свойства в результате взаимного влияния.

Первым начал целенаправленно изучать взаимодействующие галактики известный советский астроном Б. А. Воронцов-Вельяминов. Он описал большое количество взаимодействующих галактик, изучил немало таких систем и привлек к ним внимание других исследователей, сделал ряд интересных выводов, которые могут представлять значение для понимания эволюции галактик. На основании всестороннего изучения он пришел к заключению, что взаимодействие галактик вообще является весьма важным фактором в развитии Вселенной. За то время, в течение которого, по современным представлениям, существуют галактики, большинство из них должно было испытать на себе когда-то сильное воздействие проходившей рядом другой галактики.

МИР ГАЛАКТИК

Для измерения различных физических величин пользуются определенными единицами. Эти единицы в основном выбраны так, чтобы ими удобно было оперировать в повседневной жизни. При измерении количества вещества обычно применяют килограммы, при измерении расстояний и размеров — метры или используют при этом единицы, получаемые путем уменьшения или увеличения основных единиц в 10, 100, 1000, 1 000 000 и т. п. раз.

Однако если мы станем выражать в этих единицах различные характеристики звезд или галактик, то нам придется иметь дело с числами со многими десятками нулей. Поэтому для измерения масс таких объектов в

качестве единицы используется масса Солнца (M_{\odot}) $2 \cdot 10^{30}$ кг. Массы многих звезд сравнимы с массой Солнца, в крайних случаях они бывают в десятки раз больше или в десятки раз меньше. Для измерения межзвездных расстояний используется длина в один парсек (1 пс) — от словосочетания «параллакс» — «секунда». Именно на такое расстояние надо удалиться от Солнца, чтобы радиус земной орбиты (150 млн. км) был виден под углом $1''$, иначе говоря, параллакс звезды, находящейся на таком расстоянии, был бы равен $1''$. Это расстояние составляет $3,09 \cdot 10^{16}$ м, и приблизительно таково в среднем расстояние между звездами в нашей Галактике.

Для измерений межгалактических расстояний применяют килопарсеки (1 кпс = 1000 пс) и мегапарсеки (1 Мпс = 1 000 000 пс). Обычно размеры спиральных галактик составляют около 10 кпс. Крупные спиральные галактики, подобно нашей или Туманности Андромеды, имеют диаметры около 30 кпс, самые большие из эллиптических — до 50—100 кпс, а самые маленькие эллиптические галактики — несколько сотен парсек и меньше. Масса нашей Галактики превышает $10^{11} M_{\odot}$, наименьшие из галактик (карликовые) имеют массу 10^6 — $10^7 M_{\odot}$, а наибольшие — 10^{12} — $10^{13} M_{\odot}$.

Среднее расстояние в пространстве между большими галактиками, подобно нашей, около 1 Мпс. Карликовые галактики встречаются намного чаще, но они в основном не видны из-за того, что мало излучают энергии. Самые далекие галактики и квазары удалены от нас более чем на 1000 Мпс. В области, в настоящее время доступной наблюдениям, находятся многие миллиарды галактик и тысячи квазаров.

Светимости космических объектов выражают в единицах светимости Солнца ($1L_{\odot} = 3.83 \cdot 10^{26}$ Вт). Многие галактики имеют светимость, в миллиарды раз превышающую солнечную. Временные масштабы процессов, имеющих место в мире галактик, — миллионы и миллиарды лет. Периоды вращения галактик составляют десятки и сотни миллионов лет. Например, период обращения Солнца вокруг центра Галактики около 200 млн. лет. В ходе своей эволюции (если не происходит каких-либо катастрофических процессов) галактики существенно изменяют структуру и свойства лишь за 10 млрд. лет и более.

Все приведенные здесь числа настолько велики, что сами по себе даже и не поражают наше воображение. Без сравнения с чем-либо известным представить их трудно. Поэтому мы сопоставим с чем-нибудь земным хотя бы некоторые основные величины, характеризующие космические объекты: расстояния, массы, время, мощности энерговыделения, т. е. светимости в случае звезд, галактик и квазаров.

Расстояния. Если мы примем масштаб, в котором вся карта СССР размещается на торце (срезе) человеческого волоса, то наша Земля изобразится шариком диаметром 0,1 мм, Луна — шариком диаметром 0,03 мм и будет находиться в 3 мм от Земли, Солнце — шаром диаметром 1 см и расположится на расстоянии 1 м, а для того чтобы изобразить нашу Солнечную систему, потребуется лист бумаги размером 80×80 м. Ближайшие звезды в таком масштабе окажутся уже на расстоянии около 300 км от нас, и примерно таково будет среднее расстояние звезд друг от друга. Каждая из звезд будет представлена в виде шара, причем их диаметры окажутся от сотых долей миллиметра до 10 м.

Для изображения нашей Галактики уже не хватит и листа бумаги, простирающегося до реальной Луны: для модели такой гигантской звездной системы потребуется пространство в 10 млн. км. Туманность Андромеды при принятом нами масштабе окажется на месте реального Солнца, а размер всей наблюдаемой ныне части Вселенной в десятки раз превысит диаметры реальных орбит самых далеких планет Солнечной системы.

Массы. Если массу всех галактик и других объектов, находящихся в пределах наблюдаемой сейчас части Вселенной, складывать из таких «кусков», как наш земной шар, то потребуется столько таких шаров, сколько капель воды нужно было бы отобрать из Мирового океана, чтобы по одной капле вычерпать его до дна.

Время. Представьте себе, как много людей живет в нашей стране. Если бы захотелось хотя бы поздороваться с каждым из них и пожать ему руку, то, занимаясь этим непременно по 8 ч в сутки, пришлось бы потратить всю свою жизнь — более 70 лет. А теперь пусть некоему человеку каким-то образом предоставилась возможность жить вечно. Сначала он живет всю свою обычную жизнь, затем — вторую жизнь, причем повторяя жизнь какого-то другого человека от начала

до конца и со всеми малейшими ее подробностями, затем так же жизнь третьего человека, четвертого и т. д. Тогда на то, чтобы по очереди, со всеми малейшими деталями, со всей «судьбой», прожить жизни всех людей, населяющих сейчас Советский Союз, потребуется 10—20 млрд. лет. А именно таково характерное время эволюции Галактики — от ее зарождения до нынешнего состояния.

Светимость. Если бы использовать всю мощность такой «печки», как Солнце, для нагрева воды, то можно было бы довести до кипения и испарить до дна всю воду из Черного моря за 0,01 с, а из всего Мирового океана — за 10 с. А уж если «подключить» такой источник энергии, как квазар, то всю планету, подобную нашей, можно было бы за миллионные доли секунды превратить в облако плазмы с температурой в 1 млн.К.

Таковы масштабы космических процессов, если их для наглядности сравнить с земными.

КЛАССИФИКАЦИЯ ГАЛАКТИК

При изучении природы различных объектов часто полезен так называемый морфологический метод. Он заключается в том, что при наличии множества каких-либо объектов, свойства и физические характеристики которых мало известны или даже неизвестны совсем, можно, просто рассматривая внешний вид этих объектов, условно выделить среди них группы с какими-либо характерными признаками. Таким образом, весь класс объектов (например, галактик) разделяется на подклассы, в каждом из которых собраны объекты, чем-то похожие друг на друга, имеющие какие-то общие признаки. В дальнейшем может оказаться, что в таком разделении имеется глубокий смысл, что оно не случайно, а обусловлено проявлением каких-то законов в конкретных условиях.

Уже к 20—30-м годам нашего века имелось большое количество фотографий галактик. Изучая их, Э. Хаббл произвел первую классификацию галактик. Он разделил их на эллиптические (обозначив символом E), спиральные (S) и неправильные (Ir). Яркость эллиптических галактик (рис. 1) плавно убывает от центра к краю, они имеют различную видимую сплюснутость (цифра после E означает величину сплюснутости).

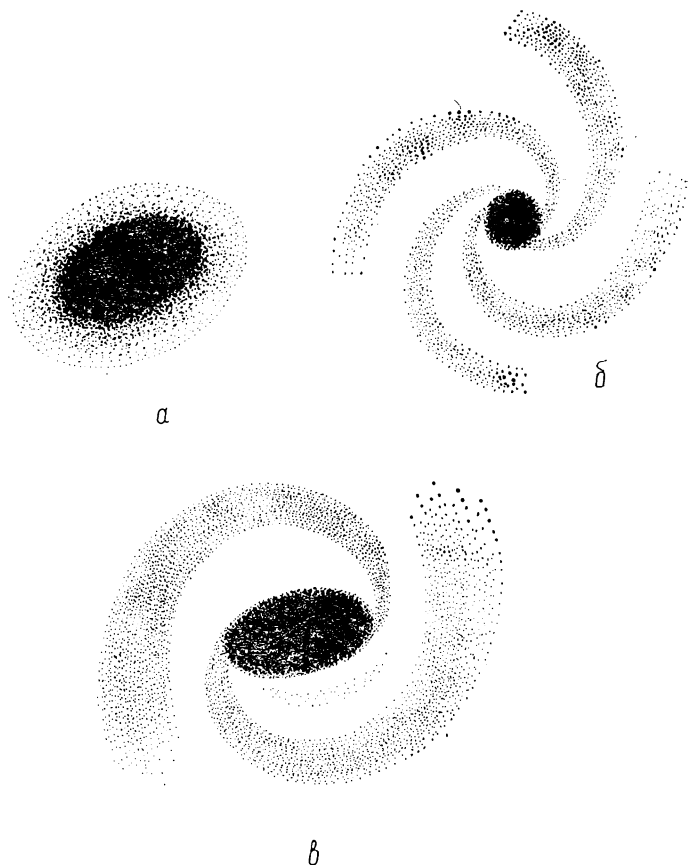


Рис. 1. Схематическое изображение некоторых морфологических типов галактик: *a* — эллиптическая E; *б* — спиральная S; *в* — спиральная с «баром» SB

сти — от E0 (совсем шаровидная форма) до E7 (сильно сжатый эллипсоид). Они состоят в основном из звезд, т. е. содержат крайне мало вещества в виде газа и пыли.

Спиральные галактики бывают двух типов: просто S (если спиральные ветви выходят прямо из ядра) и SB (если ветви выходят из концов «бара» — вытянутого образования, расположенного посередине). Кроме того, галактики при максимальных размерах и яркости ядра

по сравнению со спиральными ветвями обозначаются Sa или SBa, а при минимальных — Sc или SBc. Степень раскрытия спиральных ветвей и клочковатость их структуры максимальны у галактик Sc и SBc и минимальны у галактик Sa и SBa. Различают и промежуточные типы — галактики Sb или SBb. В спиральных галактиках, помимо звезд, имеется довольно много газообразного и пылевидного вещества.

Эта классификация, описывающая наиболее общие внешние признаки галактик, весьма распространена и в наше время. Вообще же, предложено много весьма детальных классификаций. В то же время Б. А. Воронцов-Вельяминов при составлении Морфологического каталога галактик (MCG) выявил большое количество галактик, не подчиняющихся известным классификациям.

В связи с чем он дал в каталоге описание вида галактик, используя различные символы. Отдельно им были выделены взаимодействующие галактики. По определению Б. А. Воронцова-Вельяминова, это такие системы, где «видны или подозреваются две или более галактик с искажениями формы, с хвостами, перемычками, с перекосом пылевого слоя или расположенные в виде цепочки».

В 1959 г. Б. А. Воронцов-Вельяминов издал первую часть атласа и каталога 356 взаимодействующих галактик. Галактики как из этого атласа, так и из второй его части обозначены буквами VV и соответствующим порядковым номером. Кроме того, ряд галактик имеет обозначения из каталогов MCG, «Нового общего каталога» NGC (и его дополнения IC), составленного И. Дрейером в конце XIX — начале XX в., а также из других, в частности составленного Ш. Мессье еще в XVIII в. для туманностей (M). Например, галактика Туманность Андромеды имеет обозначения M 31 и NGC 224, а система взаимодействующих галактик NGC 4038 и NGC 4039 — VV 245 VV 79.

Кроме того, среди галактик выделяют и так называемые неправильные и пекулярные — одиночные галактики либо с искажениями структуры, либо с необычной формой или резко отличающимися от других физическими свойствами, что выявляется по фотографиям или с помощью спектрального анализа. В этом смысле все взаимодействующие относятся к пекулярным, но в дан-

ном случае их пекулярность (необычность свойств) вызвана именно процессами, протекающими при взаимодействии, и эти объекты не являются одиночными, а представляют собой двойные и кратные системы.

Нередко обнаруживается, что объект, который считался одиночной пекулярной галактикой с плохо различимой (из-за большой ее удаленности от нас) структурой, при изучении с помощью более крупных телескопов и новых методов оказывается системой, состоящей из двух или более взаимодействующих галактик. И вообще говоря, для понимания природы взаимодействующих галактик необходимо также привлекать материал исследований пекулярных галактик и систем, где несколько галактик физически связаны, но нет признаков взаимного влияния на внутренние свойства друг друга, т. е. просто двойных и кратных галактик.

Рассмотрим различные типы структур, наблюдаемых при взаимодействии галактик (многие из них были замечены и выделены Б. А. Воронцовым-Вельяминовым).

1. *Системы с перемычками.* Наблюдается светящаяся перемычка между двумя галактиками, нередко она весьма четкая, длинная и тонкая (рис. 2,а).

2. *Системы с хвостами.* У одной или у обеих галактик, находящихся рядом, имеются светящиеся образования — «хвосты», направленные часто в противоположные стороны. Кроме того, хвосты нередко бывают весьма длинными и четко выраженными (см. последнюю страницу обложки, где изображены системы VV224 и VV79).

3. *Системы типа M 51.* Спиральная ветвь одной из галактик является в то же время и перемычкой, которая направлена к галактике-спутнику (этот спутник находится на конце ветви-перемычки). Характерный объект этого типа — M 51, который изображен на первой странице обложки.

4. *Кольцевые галактики.* Объект имеет вид ядра, находящегося внутри эллипса или кольца, которое нередко бывает весьма четким и ярким, и часто содержит сгустки. Спиральная структура при этом почти не видна или же совсем отсутствует, а вблизи такой галактики часто находятся спутники меньшего размера (рис. 2,б). В некоторых случаях у кольца вообще отсутствует ядро или же нет спутников.

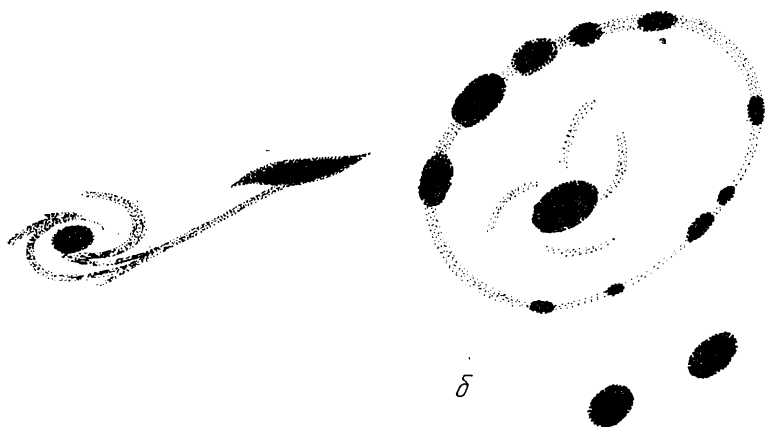


Рис. 2. Схематическое изображение некоторых типов взаимодействующих галактик: а — с перемычкой; б — кольцевая

5. *Гнезда галактик.* Несколько (более двух) основных тел, расположенных очень тесно, часто в контакте друг с другом, нередко погружены в общую светящуюся оболочку. Частным случаем «гнезд» являются так называемые галактики сD (по классификации В. Моргана). Они по структуре напоминают некоторые эллиптические галактики, слившиеся друг с другом и окруженные общей оболочкой, и чаще всего находятся в центрах больших скоплений, содержащих сотни и тысячи галактик, являясь при этом самыми яркими объектами в скоплении. Гнезда галактик бывают и весьма плотными, и относительно разреженными, причем нет четкой грани между ними и тесными группами галактик, т. е. системами, в которых несколько галактик явно разделены промежутками, не соприкасаются, но в то же время находятся близко друг к другу.

6. *Системы с резко выделяющимися деталями и peculiarной структурой одного, двух или более компонентов.* Это те случаи, когда взаимное влияние тесно расположенных галактик приводит к тому, что в них возникают какие-либо заметные детали. Например, значительное усиление яркости одной из спиральных ветвей по сравнению с другими, искажение слоя пылевой материи или возникновение сгустков, часто являющихся областями ионизованного газа, областями HII, где, ве-

роятно, происходит образование большого количества молодых и очень ярких звезд из газообразного вещества.

7. *Системы «в контакте»*. Относительно далекие и слабые объекты, многие из которых, может быть, принадлежат к одному из упоминавшихся выше типов. Однако из анализа их изображений можно сказать лишь о том, что незначительные неправильности в их структуре действительно свидетельствуют о реально близком расположении в пространстве и взаимодействии (т. е., что они оказались рядом на небе не при случайной проекции).

8. *Системы «в общем тумане»*. Аналогично предыдущему типу в этом случае только светящаяся оболочка («туман»), охватывающая обе галактики, свидетельствует об их взаимной пространственной близости и физической связи.

Между всеми указанными характерными типами взаимодействующих галактик четких граней не существует. В одной и той же системе могут одновременно проявляться разные признаки («типы») взаимодействия. Например, встречаются галактики, соединенные перемычкой, имеющие при этом еще и хвосты, а кроме того, и большие сгустки — аномально расположенные области III. Наконец, следует сказать, что в состав взаимодействующей системы могут входить галактики разных морфологических типов (эллиптические, спиральные, неправильные).

ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИЕ ГАЛАКТИКИ. НАБЛЮДЕНИЯ И ПЕРВЫЕ ГИПОТЕЗЫ

Основным методом исследования галактик, в том числе и взаимодействующих, является получение фотографий и спектров с их последующей обработкой, дающей различную информацию: о массах, светимостях, лучевых скоростях галактик и отдельных их частей, о количестве в них межзвездного газа, химическом составе и о других характеристиках.

Например, в последние годы интересные исследования проводятся по совместной программе, осуществляемой сотрудниками Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга (ГАИШ) и Специальной астрофизической обсерватории (САО) АН СССР.

При помощи крупнейшего в мире 6-метрового телескопа САО получено много спектров и фотографий взаимодействующих галактик. Обработка этих наблюдений дала немало новых сведений о лучевых скоростях и светимостях большого числа этих галактик, об интенсивностях различных линий в их спектрах, что позволило судить о физических условиях во взаимодействующих галактиках, во многих случаях оказалось возможным оценить массу наблюдавшихся объектов.

Эти, а также многие другие исследования говорят о том, что большинство взаимодействующих галактик с интересными и «странными» структурами относятся к числу гигантских и содержат много газа. Ценные результаты дают также и исследования радиоизлучения галактик, в частности излучения в радиолинии нейтрального водорода на длине волны 21 см, что позволяет получить картину распределения газа в соответствующих галактиках. В последнее время интересные сведения получают при наблюдениях скоплений галактик и других объектов в рентгеновском диапазоне.

Весь этот материал во всей своей совокупности способствует построению различных гипотез об образовании и эволюции взаимодействующих галактик, о формировании подобных структур и их характеристик, которые известны из наблюдений. Однако однозначной и бесспорной теории взаимодействующих галактик пока не существует. Это обусловлено значительной удаленностью изучаемых объектов, затрудняющей проводить достаточно детальные наблюдения, а также сложностью процессов, происходящих при взаимодействии тесно сближившихся галактик.

Изучение структуры и физических свойств взаимодействующих и пекулярных галактик привело к предположению о процессе постепенного превращения и эволюции одиночных галактик в двойные и кратные путем фрагментации. Эта гипотеза о возникновении взаимодействующих галактик развивается Б. А. Воронцовым-Вельяминовым. Академик В. А. Амбарцумян также выдвинул гипотезу о происхождении взаимодействующих галактик в результате распада одиночных галактик. Однако, по его мнению, это происходит из-за активности ядер, которые могут делиться при катастрофических взрывах.

В 1966 г. Х. Арпом был опубликован атлас пекуляр-

ных галактик, составленный по снимкам высокого качества, полученным с помощью 5-метрового телескопа. Автор атласа выдвинул гипотезу, согласно которой одни галактики и квазары могут каким-то образом выбрасываться из других в результате активных процессов, имея при этом «недоплеровское» (т. е. не обусловленное скоростью их движения) красное смещение спектральных линий.

Кроме того, высказывалось мнение, что эволюция галактик может приводить к слиянию двух или более галактик в один объект. Такая гипотеза получила развитие в теоретических работах К. Састри, С. Алладина, С. Уайта, А. Тумре и других ученых.

В последнее десятилетие все большее распространение получают численные моделирования процесса взаимодействия галактик с помощью ЭВМ. Для этого делается ряд упрощающих предположений и, используя ЭВМ, рассчитывается структура, которая будет наблюдаться в случае взаимодействия галактик, характеристики которых задаются заранее.

ГРАВИТАЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГАЛАКТИК (РАСЧЕТЫ НА ЭВМ)

Первые гипотезы относительно взаимодействия близких галактик были основаны на результатах расчетов приливного образования спиральной структуры в галактиках, сделанных Э. Хольмбергом еще в 1941 г. Искажение формы галактик под воздействием только гравитационных сил (со стороны других тел) также называется приливым.

Как мы знаем, Луна, воздействуя на Землю силой гравитационного притяжения, несколько изменяет форму Земли и поверхности океана. Наблюдая из какой-либо одной точки нашей планеты, мы увидим, что эти изменения происходят периодически вследствие вращения Земли вокруг своей оси, в частности в океанах будут наблюдаться волны приливов и отливов. Если бы Луна была намного ближе, то и приливные волны («горбы») были бы намного выше, а если бы к тому же вместо Луны было бы тело с намного большей массой, то эти волны достигали бы высоты многих километров, и Земля вообще могла бы разрушиться.

Та же ситуация характерна и для приливных иска-

жений в галактиках. Эти искажения могут быть и совсем незаметными, но в то же время бывают и столь большие, что сильно изменяют форму галактики или даже приводят к ее разрушению. Чем ближе и чем медленнее проходит тело, вызывающее приливы, и чем оно массивнее, тем сильнее, как правило, получаются искажения. Вообще же они зависят и от различных других характеристик сблизившихся тел.

Первые численные расчеты на ЭВМ, показавшие возможность образования спиралевидной структуры в галактике под воздействием приливных сил, произвели в 1961 г. Д. Пфлайдерер и Г. Зидентопф. В дальнейшем выполнялись расчеты все более сложных моделей, которые, однако, так или иначе учитывали лишь только гравитационное взаимодействие, и то — в весьма упрощенном виде, далеком от реально происходящего в сложных системах, какими являются существующие галактики.

В расчетах, проведенных Н. Ташпулатовым (1969—1970 гг.), использовалась гидродинамическая модель — галактика представлялась однородным эллипсоидом, около которой вторая галактика («точечная») двигалась по заданной орбите. При сближении обеих галактик, согласно расчетам, должно происходить истечение вещества из вершины эллипсоидальной галактики. Были вычислены орбиты отдельных элементов массы эллипсоидальной галактики, и оказалось, что истекающее вещество может образовывать структуры, напоминающие перемычки и хвосты взаимодействующих галактик. Однако истечение вещества из одной точки галактики, как очевидно, не соответствует тем движениям вещества, которые в действительности происходят при приливных деформациях галактик.

В результате численных расчетов, выполненных другими авторами в 1970 г. и позднее, выяснялись детали механизма образования перемычек, хвостов и спиральной структуры под воздействием приливных сил в галактиках, в качестве которых рассматривались системы большого числа точечных масс. В отличие от гидродинамического приближения в этих работах изучалось движение точечной массы в изменяющемся гравитационном поле (в том или ином приближении). Именно в этих случаях, как сначала казалось, получались резуль-

таты, наиболее правдоподобно объясняющие структуру ряда взаимодействующих галактик.

Для численного решения задачи необходимо было сделать ряд упрощений, полагать, например, что в галактике отсутствуют межзвездный газ и магнитные поля, а галактика состоит из массивного ядра и множества звезд, имеющих очень малую (по сравнению с ядром) массу и движущихся вокруг ядра только под воздействием гравитационных сил. Таким образом строится модель галактики: центральное тело («ядро») и несколько сотен или тысяч точечных масс («звезд»), которые, двигаясь вокруг ядра, образуют некую заданную систему (например, дискообразное «облако» с центральным ядром). Эта модель вводится в ЭВМ в виде набора чисел, характеризующих параметры ядра и каждую точку (точечную массу). Естественно, что современные ЭВМ не позволяют рассчитывать модели из многих миллиардов точечных масс в соответствии с количеством звезд в реальных галактиках.

При некоторых других упрощениях возможно и численное моделирование систем, состоящих из точек «звезд» без большой центральной массы (расчет так называемой модели с самогравитацией). В ее центре точки «звезды» просто располагаются более плотно, чем в периферийной зоне, образуя сгущение — «ядро». Все точечные массы движутся только под действием взаимных сил притяжения (какая-либо специальная центральная масса отсутствует), и в соответствии с законом всемирного тяготения каждая точечная масса испытывает гравитационное притяжение со стороны всех остальных. Такая модель более похожа на реальную галактику, но, еще раз подчеркнем, требуется ряд значительных упрощений, чтобы можно было производить ее расчет с помощью ЭВМ.

С целью изучения процесса взаимодействия галактик моделируется (с помощью ЭВМ) прохождение одного тела (галактики) около данной модели галактики. Этим телом может быть или точечная масса, сравнимая с массой галактики, или целая система точечных масс — вторая модель галактики. Причем могут быть заданы различные варианты всех характеристик движения одной галактики около другой: скорости, минимальные расстояния при сближении, угол между плоскостями галактики, угол между плоскостью орбиты движения

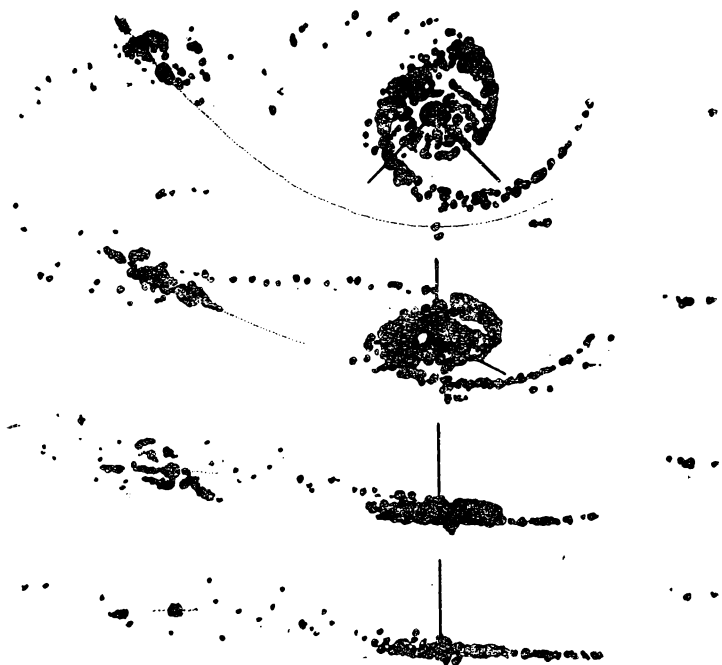


Рис. 3. Результат численности моделирования взаимодействующих галактик

одной галактики и плоскостью другой галактики и т. п. Исходя из этих характеристик рассчитывается на ЭВМ изменение формы «галактик» (т. е. какие искажения претерпевают исследуемые системы точечных масс в процессе их взаимного сближения и последующего удаления).

Результаты выдаются ЭВМ в виде либо таблиц чисел, либо схем, на которые нанесены рассчитанные положения всех точек-«звезд», т. е. изображения искаженных «галактик» (рис. 3). Если получено много таких схем, которые соответствуют последовательным моментам пролета одной галактики около другой, то все схемы могут быть засняты на киноплёнку и затем показываться в виде кинофильма, где видно все, что происходит с рассматриваемыми моделями галактик, как плавно развиваются и исчезают различные интересные галактические структуры. Правда, следует помнить, что в

реальном мире галактик такой пролет галактик друг около друга занимает сотни миллионов, а то и миллиарды лет, а не минуты, как в кинофильме.

Численным моделированием взаимодействия галактик на ЭВМ занимались советские ученые Н. Н. Козлов, Р. А. Сюняев, Т. М. Энеев, из зарубежных — А. Тумре, А. Райт, М. Клуттон-Брок и другие. В результате этих исследований получен ряд интересных результатов, которые сводятся к следующему.

Оказалось, что взаимное сближение и последующее удаление галактик, которые моделировались в виде дисков с однородным распределением точечных масс, могут приводить к формированию спиральной структуры в этих дисках. Кроме того, точки-«звезды» формируют хвосты и перемычки, особенно если в момент наибольшего сближения диски почти касаются друг друга, а их относительные скорости невелики (близки к параболической или даже меньше). Однако хвосты и перемычки в таких моделях являются плоскими и широкими образованиями, наподобие ленты, изогнутой в пространстве. Они могут казаться узкими и яркими только когда мы видим их «с ребра», что бывает редкой случайностью. Фактически же подобных объектов наблюдается достаточно много, что указывает на некоторое несоответствие численных моделей реальным процессам.

Одно тело проходит около другого с параболической, или, что одно и то же, второй космической скоростью, если первое тело движется только под действием силы притяжения второго, и причем в начале сближения, т. е. когда их разделяет еще очень большое расстояние (которое в теории принимается бесконечным), относительная скорость тела равняется нулю. Согласно этому определению, если одним из тел является Земля, а вторым — космический аппарат, то параболическая (вторая космическая) скорость последнего примерно равна 11 км/с. При наибольшем сближении двух галактик, когда они почти «касаются» краями друг друга, параболическая скорость может составлять около 300 км/с.

Если скорости галактик при сближении меньше параболической, то это означает, что обе галактики составляют связанную систему, т. е. движутся вокруг их общего центра масс по эллиптическим орбитам. Эти орбиты могут быть сильно вытянутыми, и тогда большую часть времени расстояние между галактиками сохра-

няется большим, намного превышающим их диаметры, и галактики мало влияют друг на друга. Однако в момент их сближения может происходить искажение структур галактик, характерное для взаимодействующих галактик. Промежутки времени между последовательными сближениями могут составлять сотни миллионов, а чаще всего — миллиарды лет.

При сближении двух «независимых» галактик, т. е. не составляющих связанную систему, обычно скорости существенно превышают параболическую. Ведь большинство галактик, находясь еще очень далеко друг от друга, уже имеют достаточно большие относительные скорости (особенно это характерно для скопления галактик). Встречи таких галактик происходят со скоростями, которые превышают параболические и называются гиперболическими. Опыты по численному моделированию подобных ситуаций свидетельствуют о том, что больших искажений формы галактик не происходит и в этом случае, даже если галактики почти касаются.

Интересно, что при «касательных» прохождении галактик друг около друга и даже при их столкновениях обычно не происходит никаких катастрофических столкновений звезд или планет. Все звезды одной галактики, как сквозь решето, проходят в промежутки между звездами другой галактики, изменив лишь траекторию своего движения из-за гравитационного взаимодействия с другими звездами. Вспомним, как велики расстояния между звездами по сравнению с их диаметрами, а это и приводит к тому, что вероятность случайных столкновений ничтожно мала и при столкновении галактик.

Столкновение галактик с взаимным проникновением может привести к возникновению структуры взаимодействующих галактик. Так, численное моделирование на ЭВМ, проведенное А. Тумре и Р. Линдсом, указывает, например, на образование кольцевой структуры в модели большой галактики, когда в нее врзается меньшая, но достаточно плотная галактика, проходя почти через центр первой галактики. При этом траектория движения меньшей галактики («спутника») должна под большим углом пересекать плоскость основной галактики. После такого столкновения «спутник» теряет звезды из своих периферийных зон, оставляя их в главной галактике, но его оставшаяся плотная центральная часть продолжает двигаться дальше. В результате дол-

жен наблюдаться остаток «спутника» в стороне от главной системы, которая приобретает вид ядра, окруженного кольцом из звезд, а вокруг имеется «облако» из отдельных, беспорядочно разбросанных звезд.

В некоторых расчетах кольцевые структуры отмечались в обеих галактиках. Возникновение и расширение таких колец напоминают образование кольцевой волны от брошенного в воду камня.

При численном моделировании гравитационного взаимодействия галактик получаемая картина в большой степени зависит от каждого из параметров, характеризующих систему галактик. Конкретные значения всех этих параметров никогда не бывают известны для реальных объектов, но их необходимо как-то определить, чтобы провести численное моделирование. Поэтому производят много расчетов с различными произвольно взятыми значениями параметров и ищут такой вариант, когда получаемая картина оказывается похожей на реальную систему взаимодействующих галактик.

Такой путь на первый взгляд кажется очень сложным. Но вспомним, сколько параметров должно быть задано в достаточно детальной модели? Во-первых, массы галактик, во-вторых, хотя бы по одному параметру для распределения плотности (числа звезд) внутри каждой галактики, или если галактики представлены не в виде абсолютно тонких дисков, а в виде сплюснутых эллипсоидов или дисков конечной толщины, то по два параметра. Далее, необходимо задать минимальное расстояние при сближении, а также эксцентриситет орбиты галактик около центра масс (характеризующий относительную скорость галактик). Должны быть учтены также и углы между плоскостями обеих галактик и плоскостью орбиты.

Необходимо также и задать так называемую долготу перицентра, величину, характеризующую расположение перицентра (точки орбиты, где расстояние между центрами галактик минимально). Дисперсия скоростей, т. е. величина, описывающая случайные, хаотические скорости звезд, накладывающиеся на их усредненное движение вокруг центра галактики, тоже должна быть известна для обеих галактик. Необходимо учесть и время, прошедшее после момента наибольшего сближения. И наконец, еще две величины: угол между плоскостью орбиты и лучом зрения и угол между лучом зрения и

отрезком «центр масс системы — перицентр орбиты одной из галактик». Последние величины показывают положение наблюдателей, т. е. с какой стороны мы рассматриваем данную взаимодействующую галактику.

Всего получается около 15 параметров, и это в сильно упрощенной модели, где галактики состоят только из звезд. А если учесть, как сильно влияет на картину взаимодействия величина каждого из этих параметров (по данным многих авторов), то становится понятным, какой широкий простор открывается для возможности подбора вариантов. Можно получить какие угодно причудливые переплетения хвостов и перемычек, и А. Тумре в шутку говорил, например, что он смог бы смоделировать какую угодно структуру («если нужно, то две галактики так исказились и переплелись бы, что сформировалось бы образование в виде слова «А. Тумре»).

Но именно это и вскрывает основные недостатки рассмотренного здесь способа моделирования гравитационного взаимодействия. Многие авторы для какого-нибудь наблюдаемого объекта строят модель путем соответствующего подбора параметров. Однако при этом не обращают внимания на то, что нередко наблюдается довольно много объектов с такой структурой, которая требует крайне маловероятного набора параметров, и потому должна бы быть уникальной. Таковы, например, объекты типа М 51, которых Б. А. Воронцов-Вельяминов обнаружил более 160, и некоторые другие. А это является серьезным доводом в пользу того, что многие взаимодействующие галактики формируются в результате других физических процессов, и совсем не так, как это происходит в опытах с численным моделированием гравитационного взаимодействия галактик.

Наши представления о вкладе различных процессов в формирование и эволюцию взаимодействующих галактик будут изложены в последнем разделе. Здесь же отметим лишь то, что во многих случаях существенную роль, по-видимому, играют внутренние свойства, динамика самих спиральных галактик, а также процессы, связанные с наличием межзвездного газа и пыли, в том числе образование крупных областей H II и формирование молодых звезд. Гравитационное взаимодействие звездных систем является, видимо, лишь «спусковым крючком» для начала таких процессов.

В конце этого раздела укажем на важное заключе-

ние, которое сделал советский ученый А. М. Фридман. Как свидетельствуют его расчеты, свойства реальных галактик таковы, что их взаимодействие можно рассчитывать только с помощью моделей с самогравитацией и притом с наличием дисперсии скоростей. Но ни в одной из таких моделей у галактик не получено тонких перемычек и хвостов, которые были бы похожи на наблюдаемые, что свидетельствует о необходимости учета и других процессов, помимо приливных воздействий. Модели же без самогравитации, как показал А. М. Фридман, не могут отображать «поведение» реальных галактик, поэтому происхождение хвостов и перемычек в таких моделях может совсем не соответствовать тому, как подобные образования формируются в настоящих взаимодействующих галактиках.

Отметим, однако, что расчет моделей с самогравитацией представляет собой существенно более сложную задачу, для этого необходимо делать много приближений и упрощающих предположений, вследствие чего пока не удастся решить эту задачу более или менее корректно. Модель галактики с самогравитацией сама по себе, т. е. даже без внешнего влияния (без взаимодействия с другой «галактикой»), не получается устойчивой в течение достаточно большого промежутка времени. В конце концов она разрушается, при этом получается структура, совсем не похожая на обычную одиночную галактику. Таким образом, пока не удастся произвести численный расчет моделей, в достаточно полной мере соответствующих реальным взаимодействующим галактикам.

ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИЕ ГАЛАКТИКИ — РЕЗУЛЬТАТ СЛИЯНИЯ

Вспомните, как вечером, когда уже темно, в надвигающейся грозе вдруг ярко вспыхивает молния. Она на мгновение озаряет все вокруг, и в этом свете все движущееся — люди, машины, качающиеся от ветра деревья — кажутся нам застывшими, неподвижными. Они хорошо осветились и оставили у нас яркие зрительные образы лишь в течение вспышки и почти не успели сдвинуться с места за такой очень короткий промежуток времени. Так же запечатляются движущиеся предметы на фотографии.

Казалось бы, люди наблюдают за галактиками довольно давно. В телескопы на некоторые из них смотрят уже два-три столетия, а в последние десятилетия применяются и самые современные методы исследования. Тем не менее остается неясным, являются ли взаимодействующие галактики результатом процесса слияния двух или нескольких галактик в одну, а может, наоборот, это результат деления одной галактики. Но ведь годы и десятилетия в жизни галактики — это все равно, что вспышка молнии в жизни человека. Поэтому с помощью прямых измерений взаимодействующих галактик ответить на вопрос: «Сливаются или разделяются?» невозможно. Даже наблюдая за галактиками в течение тысячелетий, мы будем видеть их «застывшими».

По данным теоретических расчетов, процесс слияния двух гигантских эллиптических галактик, скажем, с массами 10^{11} — 10^{12} M_{\odot} , в одну может длиться миллиарды лет, да и то, если для этого есть благоприятные условия. В изучении процессов разделения пока вообще отсутствуют какие-либо достаточно определенные количественные результаты. Следовательно, в распоряжении ученых остаются лишь косвенные пути решения данной проблемы: наблюдательные данные и теоретические расчеты, касающиеся поиска доводов в пользу правильности той или иной гипотезы. В этой области известны работы К. Састри, С. Алладина и других ученых.

Можно было бы заподозрить слияние или разделение у всех взаимодействующих галактик. Однако во многих случаях сама наблюдаемая структура этих галактик свидетельствует в пользу протекания совсем других процессов, и это подтверждается результатами определения скоростей, масс и других физических характеристик галактик. Но имеются и взаимодействующие галактики, структура которых сильно напоминает ту, которая, по современным представлениям, должна ожидаться при слиянии галактик. В первую очередь это относится к гнездам галактик, в частности к системам типа cD, а также к взаимодействующим галактикам «в общем тумане» (особенно, если это пара эллиптических галактик в общей протяженной оболочке).

При теоретическом изучении этого вопроса можно выделить три наиболее распространенных направления, которые и рассматриваются дальше.

Парные столкновения. Наибольшее количество рас-

четов столкновений двух галактик (парных столкновений) выполнено для случая, когда обе галактики являются эллиптическими. Каждая из них представляется при этом сферической или эллипсоидальной системой, состоящей из множества звезд с заданной плотностью их расположения в галактиках, определенным образом убывающей от центра к краю. Оказывается, что можно аналитически рассчитать результаты столкновения таких галактик, т. е. вывести формулы для расчетов изменения различных характеристик этих галактик, в зависимости от их относительной скорости и минимального расстояния между их центрами при столкновении.

При прохождении одной звездной системы сквозь другую происходит обмен энергиями между галактиками. Причем энергия перераспределяется таким образом, что относительная скорость движения систем уменьшается, а скорости звезд внутри каждой системы изменяются, приводя к увеличению дисперсии (разброса) скоростей. Кроме того, увеличивается размер и уменьшается плотность звездных систем — каждая из них несколько расширяется. В результате получается, что хотя звезды и не сталкиваются между собой, но сами галактики тормозятся (это действует так называемое динамическое трение).

Последствия парного столкновения могут быть различными в зависимости от отношения масс галактик, от их плотностей и размеров, от скорости сближения. Даже при лобовом столкновении (когда центр одной из галактик проходит через центр другой) галактики могут продолжать свое движение, мало изменившись в структуре. Но при этом скорость сближения должна быть больше некоторого критического значения, существенно превышающего величину параболической скорости. Если скорость меньше критической, то после столкновения она становится меньше параболической, и происходит так называемый «захват» — галактики уже не могут сколь угодно удаляться друг от друга.

В этом случае, разойдясь на некоторое расстояние, галактики снова начнут сближаться и произведут второе столкновение, разумеется, уже с меньшей скоростью, чем первое. Эффективность же торможения сильно увеличивается при уменьшении относительной скорости. Поэтому второе столкновение приведет к еще большему расширению каждой галактики и к дальнейшему

их торможению. Затем галактики сойдутся третий раз и т. д. — будет происходить колебательный процесс прохождения одной галактики сквозь другую с уменьшающейся амплитудой, пока галактики совсем не сольются в одну. Орбиты всех звезд при этом сильно изменятся, «переплетутся», а скорости возрастут — получится одна галактика существенно большего размера.

В течение всего этого колебательного процесса, который может длиться несколько миллиардов лет, вплоть до окончательного слияния, галактики должны выглядеть как взаимодействующие. На основании данных о пространственной плотности галактик (которая вне скоплений весьма мала), их скоростях и размерах можно оценить, сколько может наблюдаться взаимодействующих галактик, образовавшихся в подобном процессе. Их количество оказывается очень небольшим, во много раз меньшим числа наблюдающихся сейчас взаимодействующих галактик подобного типа. Это означает, что большинство этих галактик образовалось как-то по-другому, и лишь некоторая их часть — вследствие лобового столкновения.

При лобовом столкновении спиральных галактик, богатых газом, вообще-то говоря, должна получиться многокомпонентная структура. Участвуя в таком столкновении, облака межзвездного газа, будучи сплошными телами, не смогут пройти друг сквозь друга и будут испытывать сильное и неравномерное сжатие. Это, скорее всего, должно привести к вспышке звездообразования почти одновременно и в больших областях, а вся система будет представляться нам состоящей из ярких сгустков и всяких неправильных «клочков», т. е. выглядеть как гнездо галактик. Однако лобовые столкновения все же так маловероятны, что ими можно объяснить лишь малую часть общего числа этих гнезд.

В скоплениях пространственная плотность галактик выше, но их относительные скорости там велики и почти всегда больше критической. Следовательно, происходящие там парные столкновения не могут приводить к захвату галактик, и это является фактором, противодействующим появлению взаимодействующих галактик в скоплениях. Однако высокая пространственная плотность галактик, наоборот, должна способствовать формированию там взаимодействующих структур. Какой из этих двух факторов преобладает, зависит от ряда пара-

метров, характеризующих скопление галактик. По крайней мере из современных данных трудно сделать какой-либо вывод о том, где взаимодействующие галактики встречаются чаще — в скоплениях или вне их. И отношение числа взаимодействующих галактик к числу всех галактик примерно одинаково в скоплениях и вне скоплений.

Однако, как оказалось, в скоплениях галактик наблюдается немало таких систем, структура которых похожа на ту, которая ожидается при взаимном захвате галактик. И это при том, что, как уже указывалось, захват при парных столкновениях в скоплениях практически невозможен. Особенно выделяются галактики типа сD в центрах скоплений. Для объяснения их появления там предложен был другой механизм, который и рассмотрим дальше.

Образование систем типа сD. В скоплениях, по-видимому, имеется большое количество малых галактик, их там намного больше, чем гигантских. Поэтому, хотя крупная, массивная галактика при своем движении в скоплении весьма редко может столкнуться с такой же, однако небольшие галактики должны попадаться на ее пути весьма часто. Не причиняя ей почти никаких повреждений, они при этом разрушаются, так как их массы намного меньше, а энергия, необходимая для отрыва и удаления звезд из малых галактик, также намного меньше, чем в случае гигантских галактик. Последняя лишь немного уменьшит свою кинетическую энергию (за счет динамического трения) при каждом столкновении с малой галактикой.

Постепенно движение массивной галактики должно замедлиться, и она упадет, вернее, медленно оседет к центру скопления. Этот процесс интересен тем, что степень такого торможения, как указывается рядом авторов, пропорциональна массе большой галактики. Таким образом, при большей массе галактики больше и эффективность замедления ее движения (вследствие столкновений с малыми галактиками). Поэтому раньше других в центре скопления оказываются несколько самых больших галактик. А там уж происходит процесс их слияния, поскольку их относительные скорости становятся меньше критической.

Согласно расчетам, оседание галактики массой $10^{12} M_{\odot}$ в центр такого скопления, как в созвездии Во-

лос Вероники, должно длиться 10—20 млрд. лет. Такой большой промежуток времени, сравнимый с продолжительностью космологического расширения, указывает на то, что только самые гигантские эллиптические галактики (являющиеся наиболее массивными) успели оказаться в центрах скоплений. Во многих случаях мы наблюдаем такую стадию процесса, когда уже несколько галактик находятся в центре скопления, но они еще не слились совсем, а лишь образовали обширную общую протяженную оболочку из рассеявшихся вокруг звезд (размер такой системы часто превышает 100 кпс).

Таков механизм формирования большинства галактик cD, но есть и исключения, указывающие на то, что не все здесь ясно до конца. И по-видимому, есть еще какие-то процессы, нам пока неизвестные. Например, галактики типа cD не всегда расположены в центрах скоплений, а иногда и вовсе встречаются в весьма разреженных рассеянных скоплениях. Последнее не может быть объяснено ни захватом при столкновениях, который слишком маловероятен, ни рассмотренным процессом динамического трения, приводящим к формированию галактик cD лишь в центрах скоплений.

Однако образование многих галактик типа cD, по-видимому, связано лишь с гравитационным взаимодействием звездных систем. В этом и состоит отличие этих галактик от остальных взаимодействующих галактик типа гнезд.

Образование гнезд галактик в тесных группах. Группы отличаются от скоплений тем, что содержат не сотни или тысячи, а лишь несколько галактик (например, 3—10), расположенных все же достаточно обособленно от других. Те группы, в которых расстояния между галактиками сравнимы с их размерами, называют тесными. Правда, в случае скопления галактики в его центральной области располагаются столь тесно, что образуют и там своего рода тесную группу. Однако эволюция такой группы может протекать несколько иначе, чем в тесных группах вне скоплений галактик, так как условия, складывающиеся в скоплениях, отличаются от условий, в которых существует изолированная группа.

И поэтому приводимые далее результаты касаются только изолированных групп. В тесной группе каждая галактика должна особенно сильно испытывать гравитационное воздействие своих соседей, стремящееся иска-

звить ее форму, отобрать часть звезд или вообще ее разрушить, рассеяв все звезды и газ в пространстве вокруг и внутри группы. На это расходуется механическая энергия галактик, и скорости их движения внутри группы уменьшаются. В результате они не могут уже находиться достаточно далеко друг от друга и все более сближаются к общему центру масс. Энергия движения звезд в каждой галактике растет, звездные системы расширяются, некоторые звезды вообще вырываются и уходят в межгалактическое пространство.

Таким образом, динамическое трение приводит к тому, что все галактики тесной группы сливаются в одну большую галактику, где в общей оболочке из рассеянных звезд движутся несколько сгущений-«ядер», которые в конце концов окончательно сливаются друг с другом. Этот процесс идет тем быстрее, чем больше суммарная масса галактик в группе и чем они теснее там расположены.

В состав большинства групп входят и эллиптические и спиральные галактики, однако нередко — только спиральные. Следовательно, на поздних стадиях процесса слияния галактик должны происходить столкновения больших масс межзвездного газа, находящегося в спиральных галактиках. Это, как мы знаем, приводит к формированию гигантских областей HII и большого количества молодых горячих звезд за сравнительно короткий промежуток времени. В результате существенно изменится спектр системы, поскольку молодые (более голубые) звезды больше излучают в коротковолновой области спектра, а в областях HII много энергии будет излучаться газом в эмиссионных линиях.

Сформировавшиеся области активного звездообразования могут выглядеть в виде ярких сгустков-«ядер», сравнимых с ядрами-остатками галактик. Следовательно, количество «ядер» в системе будет больше, чем было галактик в группе. Полная светимость объекта может значительно превысить суммарную светимость отдельных галактик, из которых он сформировался. Внешне такой объект должен быть сильно похож на те, которые мы называем гнездами галактик, и, по-видимому, именно так формируются некоторые из них.

Между прочим, по данным Б. А. Воронцова-Вельяминова и В. П. Архиповой, гнезда в среднем являются

более голубыми, чем обычные галактики, и больше излучают в эмиссионных линиях.

Упомянувшиеся уже исследования с помощью 6-метрового телескопа, проведенные по совместной программе ГАИШ и САО АН СССР, показали, что светимость большинства гнезд действительно в несколько раз превышает светимость таких спиральных галактик, как наша.

Но означает ли это, что все гнезда галактик формируются именно в результате слияния в тесных группах? Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим некоторые данные о гнездах и группах галактик, полученные различными авторами.

Д. Ричстоун и П. Хиксон, например, показали, что большинство групп являются недостаточно тесными для того, чтобы их галактики успели слиться за все время своего существования (примерно 20 млрд. лет). Согласно расчетам Д. Ричстоуна и П. Хиксона, у галактик в тесных группах в общую оболочку должны перейти лишь их внешние протяженные части — короны из звезд. По оценкам, проведенным автором этой брошюры, 3—7 галактик с суммарной массой $5 \cdot 10^{11} M_{\odot}$, образующих группу с размерами (расстоянием между самыми удаленными членами) 100 кпс, могут слиться друг с другом примерно за 10—20 млрд. лет. При этом 50—60% от первоначальной суммарной массы должно пойти на образование большой и разреженной оболочки из звезд, имеющей размеры, примерно равные первоначальным размерам группы. Остальная же масса будет заключена в гнезде галактик размером 20—30 кпс.

Расчеты показывают, что число групп, из которых могут за 10—20 млрд. лет образоваться гнезда галактик, существенно меньше (примерно в 10 раз), чем наблюдаемое количество гнезд в том же объеме пространства. Маловероятно, чтобы около 10 млрд. лет назад было настолько больше тесных групп, чем сейчас, по крайней мере с точки зрения современных представлений о формировании галактик. Правда, если учитывать только немногочисленные гнезда, содержащие эллиптические галактики, то достигается некоторое согласие с теоретическими оценками. Такие гнезда, к тому же выделяющиеся среди других отсутствием активного звездообразования (из анализа их спектров), могут быть продуктом эволюции тесных групп.

О том, что рассмотренный здесь механизм не годится для образования большинства гнезд, свидетельствуют также и данные о морфологии этих объектов. На основании результатов, полученных И. Д. Караченцевым и Б. А. Воронцовым-Вельяминовым, можно сделать заключение, что эллиптические галактики намного реже входят в состав гнезд, чем в состав тесных групп. Оценки показывают, что лишь 5—15% общего числа гнезд можно еще считать образовавшимися путем слияния галактик в тесных группах вследствие динамического трения. Причем около половины из них являются гнездами с эллиптическими галактиками без каких-либо признаков большого количества молодых звезд и без наличия интенсивного излучения в эмиссионных линиях.

Большая часть гнезд (85—95%), по-видимому, представляет собой объекты, сформировавшиеся не при слиянии галактик в тесных группах. Наиболее вероятными здесь видятся два пути образования таких гнезд.

1. Столкновение двух «независимых» галактик, содержащих большое количество газа, или слияние пары взаимодействующих галактик (связанных в систему) вследствие динамического трения. В обоих случаях наличие газа приводит к процессам, уже рассмотренным нами ранее при изучении слияния галактик в группе. В частности, число наблюдаемых сгущений в объекте в этом случае может быть существенно больше первоначального числа галактик.

Согласно данным, полученным И. Д. Караченцевым, в двойных галактиках (среди которых большинство не являются взаимодействующими) преобладает движение компонентов по орбитам, близким к круговым. Системы же с сильно вытянутыми орбитами (т. е. с периодическим очень тесным сближением компонентов) отсутствуют; возможно, потому, что хоть вначале (более 10 млрд. лет назад) их и могло быть много, но все они быстро должны были слиться в результате динамического трения. Таких двойных систем вполне могло хватить для того, чтобы теперь наблюдались поздние стадии их слияния как гнезда галактик.

2. Фрагментация (постепенное разделение) одиночной галактики на две или несколько частей. Как считает Б. А. Воронцов-Вельяминов, гнезда, как и некоторые другие типы взаимодействующих галактик, могли образоваться именно этим путем. Такой процесс тоже яв-

ляется своего рода «групповым рождением» галактик. Многие ученые считают, что в большинстве имеющихся сейчас взаимодействующих систем их компоненты (галактики) родились почти одновременно и с тех пор составляют связанную пару или группу галактик.

ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИЕ ГАЛАКТИКИ — РЕЗУЛЬТАТ ФРАГМЕНТАЦИИ

В 1977 г. Б. А. Воронцов-Вельяминов опубликовал вторую часть Атласа взаимодействующих галактик. В ходе многолетней работы по изучению этих объектов у него сложилось убеждение, что в природе должны происходить процессы фрагментации — постепенное отделение более или менее крупных частей от основной галактики и их обособление в виде отдельных галактик-спутников. Определенные стадии процесса разделения могут наблюдаться в виде взаимодействующих и пекулярных галактик различных типов.

Как известно, области НII существуют самых разных размеров — от совсем небольших до гигантских, сравнимых с целой галактикой по своим диаметру и светимости. Гигантские области НII, объекты, содержащие огромные количества газа, пыли, множество молодых звезд, называются сверхассоциациями. Бюраканские ученые во главе с В. А. Амбарцумяном изучили немало сверхассоциаций и нашли среди них такие, которые не уступают по светимости средней галактике. Эти сверхассоциации могут располагаться как внутри галактики, так и на ее периферии, даже вне галактики, являясь ее спутником, т. е. в полном смысле уже быть отдельной системой.

На это и обратил внимание Б. А. Воронцов-Вельяминов. В начале второй части Атласа взаимодействующих галактик он помещает описание и фотографии галактик с необычным (пекулярным) расположением больших областей НII, наблюдаемых в виде сгустков и рваных клочьев, причудливым образом разбросанных внутри и на периферии соответствующих галактик. Затем даются фотографии объектов с «большими внутренними подсистемами» — в каждом из них сгустки и «клочья» являются значительной частью всей галактики. Далее следуют фотографии, в которых такие сформировавшиеся подсистемы или сверхассоциации видны

уже в виде сгустков, расположенных либо на самом краю, либо вне основной галактики, с которой они соединяются тонкой короткой перемычкой («ножкой»).

Как считает Б. А. Воронцов-Вельяминов, такие объекты могут представлять собой различные стадии фрагментации. Сначала на периферии галактики формируется крупное сгущение-подсистема (может быть, в виде гигантской области НII — сверхассоциации), а затем оно обособляется и отделяется как спутник, за которым какое-то время тянется в виде перемычки вещество из основной галактики. Существуют галактики, от которых отделяются сразу два сгустка на «ножках», и нередко оба они располагаются с одной стороны от галактики.

Еще один возможный путь отделения галактики-спутника можно выделить при рассмотрении галактик типа М 51, множество фотографий которых приведено во второй части Атласа взаимодействующих галактик. Среди этих галактик есть и такие, где спутник представляет собой гигантскую область НII в конце спиральной ветви, и такие, где спутник — это целая галактика, по размерам не сильно уступающая основной. Существуют и все промежуточные варианты. Известны также галактики типа «двойной М 51» — у них спутники имеются на концах обеих спиральных ветвей.

Б. А. Воронцов-Вельяминов полагает, что в некоторых галактиках создаются условия для зарождения подсистемы (типа гигантской области НII) именно вблизи конца спиральной ветви, а затем происходит «отпочкование», отделение этой подсистемы в виде спутника. Гравитационным взаимодействием, проявляющимся просто в результате сближения двух разных галактик (даже составляющих связанную систему), по-видимому, можно объяснить лишь некоторые системы типа М 51, из числа тех, где основная галактика и спутник имеют не слишком отличающиеся массы.

Используя имеющиеся данные, нетрудно рассчитать, что вероятность случайного проецирования спутника на конец спиральной ветви основной галактики очень мала и слишком не соответствует наблюдаемому количеству объектов типа М 51. Кроме того, известное отношение количества систем типа «двойной М 51» к числу систем типа М 51 более чем в 1000 раз превосходит полученное из расчетов, основанных на том, что спутник случайно проецируется на концы спиральных ветвей. От-

сюда следует вывод, что, по-видимому, для большинства галактик типа М 51 наиболее вероятно происхождение путем фрагментации.

Правда, хотя пока это дискуссионно и не подтверждается некоторыми расчетами, такая проекция требуется и в случае получения соответствующих систем при численном моделировании. Даже если спиральная ветвь получена как результат гравитационного взаимодействия галактик, то спутник либо вообще не будет касаться ее, либо касается в течение очень короткого промежутка времени. И до и после такого касания спутник располагается в пространстве в стороне от ветви, и лишь случайная подходящая ориентация системы может «совместить» его с концом ветви (но, как показывает расчет, такая ориентация весьма маловероятна).

В конце предыдущего раздела обсуждалось происхождение гнезд галактик. Некоторые гипотезы и теории, рассмотренные там, весьма правдоподобны, например механизм образования галактик сD (которых сравнительно мало среди множества гнезд) в скоплениях. Большинство остальных гнезд, которые не могут быть продуктом слияния нескольких галактик в группах, возможно, как уже говорилось, образовались в результате фрагментации галактик. Особенно в этом смысле интересны так называемые цепочки галактик. Это, собственно, тоже разновидность гнезд, когда несколько галактик расположены почти вплотную одна к другой в виде цепочки.

В первой и особенно во второй частях Атласа взаимодействующих галактик приводится много фотографий и описаний этих объектов. Как считает Б. А. Воронцов-Вельяминов, в случае большинства гнезд и цепочек мы являемся свидетелями процесса фрагментации галактик. Пока не вполне ясна физика такой фрагментации, т. е. те конкретные проявления физических законов, которые могут привести к постепенному отделению частей галактик. Может, гравитационная неустойчивость возникает в сильно сплюснутой вращающейся звездной системе? Но как тогда момент количества движения от основной части галактики может передаться к начавшему формироваться сгущению, чтобы оно смогло окончательно обособиться, и в то же время не разрушиться под воздействием гравитационного поля «материнской» галактики, находящейся еще совсем рядом?

Предполагается также существование сил еще неизвестной нам природы (помимо гравитационных, электромагнитных, ядерных), которые заметно проявляют себя только в случае очень больших масс и расстояний. Возможность привлечения таких сил для объяснения некоторых взаимодействующих галактик не исключает Б. А. Воронцов-Вельяминов. Известно по крайней мере, что в некоторых галактиках (например, с активными ядрами) происходят процессы, при которых выделяемая энергия значительно больше необходимой для отделения и удаления довольно большого «куска» от той же галактики.

Раньше всех выдвинул гипотезу о фрагментации галактик В. А. Амбарцумян. По его мнению, фрагментация происходит иначе, чем здесь рассматривалось: она начинается с разделения ядра на части. На определенной стадии такая разделившаяся система может, в частности, иметь вид взаимодействующей галактики. Действительно, известны галактики с двойными и кратными ядрами, и в некоторых объектах обнаружены сгустки-выбросы из ядер, обладающие огромной энергией. Может быть, часть галактик со спутниками образуется именно так?

Однако пока нельзя определенно ответить на вопрос, какова доля таких систем среди всех взаимодействующих галактик. И для объяснения формирования наблюдаемых интересных структур многие ученые ищут другие механизмы.

ПРОБЛЕМА ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ГАЛАКТИК. КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД

Ранее мы рассматривали наиболее вероятные, по современным представлениям, пути образования некоторых типов взаимодействующих галактик: гнезд (в частности, систем сD), объектов типа M 51, а также галактик «в контакте» или «в общем тумане». Последние часто являются объектами, имеющими интересную структуру какого-то определенного типа (из уже перечислявшихся нами), но они слишком удалены, что не позволяет увидеть никаких деталей, кроме сгущений, расположенных «в контакте» или «в общем тумане».

Часть из таких систем действительно является парами эллиптических галактик, находящихся в общей

туманной оболочке с плавно убывающей яркостью. В этих случаях, по-видимому, в основном проявляются только гравитационные приливные эффекты, как и в моделях систем с большой дисперсией скоростей. Может быть, в таких системах происходит обмен веществом между двумя галактиками в зоне их контакта: в одной из них звезды так изменяют свои орбиты, что переходят в другую или в общую оболочку.

Для остальных типов взаимодействующих галактик — с перемычками, хвостами, кольцами или peculiarно расположенными сверхассоциациями — не удалось найти какой-либо механизм формирования, который определенно и однозначно объяснял бы все данные наблюдений. Хотя для этого предлагались как модели чисто гравитационного (приливного) взаимодействия звездных систем (что уже рассматривалось в предыдущих разделах), так и с учетом магнитных и других эффектов.

Среди теоретических интерпретаций взаимодействующих галактик, в которых основная роль отводится магнитным полям и газовой составляющей, наиболее известны работы советских ученых С. Б. Пикельнера и Р. Е. Гершберга (1960-е годы). С. Б. Пикельнер высказал предположение, что как спиральные ветви, так и хвосты и перемычки между галактиками могут образовываться в результате распространения волны конденсаций вдоль магнитного поля. Это должно было происходить еще на ранних этапах формирования галактики, когда она сжимается из протогалактического газа с магнитным полем. При этом конфигурация магнитного поля может претерпевать такие изменения, что его силовые линии как бы сближаются друг с другом.

Может, например, сжиматься «трубка» из силовых линий возле галактики или между двумя галактиками, и таким образом магнитное поле будет воздействовать на газ. Это воздействие затем может передаваться вдоль «трубки», стимулируя конденсацию все новых и новых масс газа, приводя к процессу звездообразования в сжавшемся газе. Так у галактик могут появляться перемычки и хвосты, состоящие из звезд и газа. Возможность такого развития процессов подтверждается расчетами.

Р. Е. Гершберг привлек для объяснения межгалактических перемычек механизм возникновения волокни-

стых структур при скручивании магнитных силовых линий («механический пинч-эффект»). Он показал, что в случае высокой степени ионизации межгалактического газа при приемлемой величине межгалактического магнитного поля может происходить весьма эффективное взаимодействие вращающихся масс галактики с межгалактической средой, в которой получается уплотнение вещества в виде волокна, связывающего две вращающиеся галактики.

При этом «трубка» из магнитных силовых линий как бы связывает два «вихря» (две вращающиеся галактики с достаточным количеством газа или два протогалактических облака). При достаточном запасе кинетической энергии в «вихрях» и при высокой проводимости среды магнитное поле изменяется таким образом, что силовые линии закручиваются, а межгалактический газ сжимается к оси силовой «трубки». Достаточно, чтобы магнитные силы произвели определенное первоначальное уплотнение, а последующее сжатие уже может поддерживаться гидродинамическими силами. В конечном счете все это приводит к формированию звезд в перемычке.

Как показал Р. Е. Гершберг, для осуществления этой схемы достаточно, если магнитные силовые линии закручиваются лишь с одной стороны «трубки». Другой же конец «трубки» может быть связан с медленно вращающейся эллиптической галактикой или вообще не с галактикой, а с межгалактическим облаком газа. В последнем случае могут получаться структуры типа хвостов или других длинных выступов у отдельных галактик.

Следует отметить, что магнитное поле действует на ионизованный газ, но не на звезды. Поэтому после того как в перемычке сформировались звезды, их уже ничего там не удерживает. Таким образом, и перемычки и хвосты, сформировавшиеся при описанных процессах, являются весьма короткоживущими по сравнению с самими галактиками. Гравитационное поле в них слишком слабое, оно не в состоянии долго удерживать звезды, и в течение примерно 100 млн. лет четкая перемычка должна «размываться» и рассеиваться в окружающем пространстве. Естественно, и возраст звезд, из которых состоят перемычки и хвосты, согласно их маг-

нитогидродинамическому объяснению, не должен превышать 100 млн. лет.

Спиральная структура галактик имеет, скорее всего, иную природу. Сейчас существуют теории, весьма правдоподобно (и не противореча данным наблюдений) объясняющие происхождение спиральных ветвей. Уже в начале 1970-х годов эти теории поддерживались многими учеными, в том числе и С. Б. Пикельнером, который своими исследованиями внес весомый вклад в развитие различных отраслей астрофизики. Тогда было получено немало доводов в пользу того, что перемычки и хвосты у галактик являются долгоживущими образованиями, имеющими почти такой же возраст, как и спиральные ветви, — многие миллиарды лет.

Это противоречит изложенным выше оценкам, основанным на магнитогидродинамическом приближении. Во всяком случае время существования хвостов и перемычек у какой-либо галактики может в несколько раз превышать период обращения периферийных звезд той же галактики вокруг ее ядра. Об этом говорят и результаты наблюдений (в том числе статистика встречаемости различных типов взаимодействующих галактик), и результаты численного моделирования на ЭВМ, уже упоминавшегося ранее.

Отметим, что А. В. Засов еще в 1967 г. предложил механизм, который может поддерживать очень длительное существование перемычек и хвостов. Он привел доводы в пользу того, что в рассматриваемых образованиях происходит непрерывное формирование звезд из газа, поступающего из межгалактической среды. Дело в том, что под воздействием сил гравитационного притяжения должна наблюдаться так называемая аккреция вещества из межгалактического пространства (как на саму галактику, так и на перемычки, хвосты и т. п.). Иначе говоря, все новые и новые порции этого вещества должны непрерывно падать, например, на перемычку и оставаться там, постепенно накапливаясь.

Впоследствии из этого вещества (газа) формируются звезды. Этот процесс может продолжаться очень долго, пока не иссякнет источник «строительного материала» для молодых звезд — межгалактический газ. От его плотности и массы вещества перемычек и хвостов зависят темпы аккреции, интенсивность звездообразования и длительность рассматриваемых процессов. Если

плотность межгалактического газа возле соответствующих галактик достаточно велика (около 10^{-24} кг/м³), то время жизни перемычек и хвостов может быть сравнимо со временем жизни самих галактик.

Весьма вероятно, что интересные структуры в некоторых из взаимодействующих галактик существуют именно благодаря таким процессам, сформировавшимся когда-то ранее в результате других процессов. Но во многих случаях характеристики галактик и межгалактической среды возле них, по-видимому, таковы, что необходимый темп аккреции не может обеспечиваться. Поэтому хотя рассматриваемый механизм и действует во всех взаимодействующих галактиках, но, скорее всего, в большинстве случаев его роль в поддержании существования перемычек и хвостов второстепенна.

Межгалактическая среда в скоплениях галактик достаточно плотная, но она не может эффективно поддерживать существование перемычек, хвостов и подобных им образований. Ведь скорости движения галактик там весьма велики. Это, как уже упоминалось, вообще не способствует проявлению процессов взаимодействия, и поэтому доля галактик с признаками взаимодействия в скоплениях не больше, чем вне скоплений.

Следует сказать, что существует немало попыток объяснить происхождение взаимодействующих галактик, основанных либо на гравитационном приливном взаимодействии, либо на действии магнитного поля и газовой составляющей, либо на процессах, в которые вовлекается межгалактическая среда. Однако каждая из этих попыток, удачно объяснив формы и свойства одних взаимодействующих галактик, сталкивается с непреодолимыми трудностями при объяснении других (причем иногда одного и того же типа). Все это убеждает нас в том, что чаще всего не какой-либо один из предполагаемых процессов является определяющим при образовании взаимодействующих галактик, а все они в большей или меньшей мере играют в этом существенную роль.

Возможно, что важную роль в объяснении формирования взаимодействующих галактик играет теория возникновения спиральной структуры галактик. Эта теория получила большое распространение в последнее десятилетие и, видимо, в основном подтверждается наб-

людениями. Напомним, что наиболее причудливые формы в основном встречаются при взаимодействии спиральных галактик и значительно реже — в случае эллиптических.

Суть механизма образования спирального узора в галактиках состоит в следующем. Вся совокупность звезд может рассматриваться как аналог некоторого газа, а каждая отдельная звезда — как аналог «молекулы», частицы этого газа. Звезды, даже пролетев в пространстве расстояние, многократно превышающее средние расстояния между ними, не сталкиваются друг с другом в отличие от молекул в настоящем газе. Но они влияют друг на друга посредством гравитационного притяжения, изменяющего направление и скорости их движения. Во вращающейся галактике это приводит к появлению сил, являющихся в некотором смысле аналогом тех, которые действуют при упругих столкновениях частиц в газе.

Таким образом, волны в виде периодических сгущений и разрежений могут распространяться не только в обычном газе, но и в «газе», состоящем из звезд. В плоских галактиках (т. е. достаточно сильно сжатых, дискообразных), которые к тому же быстро вращаются, такие волны приобретают вид спиралей, выходящих из центральной области. Скорость распространения волн может существенно отличаться от скорости движения звезд, которая обычно больше. Так, например, в быстро текущей воде отдельные частицы могут проходить сквозь волну (образовавшуюся, например, возле какого-то препятствия), которая движется медленно или даже остается на месте.

Спиральная волна в галактике представляет собой уплотнение, сгущение массы, которое оказывает дополнительное гравитационное притяжение на находящиеся рядом звезды. Приближаясь к волне, звезда несколько ускоряется и удаляется от центра галактики, а пройдя волну, вновь замедляется и приближается к центру. Такое же влияние спиральные ветви-волны оказывают не только на звезды, но и на межзвездный газ. Однако с ним происходят процессы совершенно иного рода.

Действительно, звезда, движущаяся быстро, свободно проходит мимо своих более медленных соседей. А облака газа, перемещающиеся с разными скоростями, не могут пройти друг сквозь друга. Газ, приближаю-

дийся к спиральной ветви и проникающий в нее, нагнетается на газ, который находится там и движется медленнее. Скорости столкновения часто оказываются больше скорости звука в межзвездном газе, что приводит к образованию ударных волн. Одни облака и струи газа сталкиваются с другими, происходит сильное сжатие и разогрев этого газа, много энергии при этом излучается в виде электромагнитного излучения.

Такие процессы ведут к сгущению межзвездного газа и пыли и к формированию молодых звезд. Следовательно, в спиральных рукавах звездообразование протекает намного быстрее, чем в других областях галактики. Эти звезды очень горячие и имеют высокую светимость, что особенно сильно обозначает спиральный узор. Ведь плотность расположения звезд в волне, например, может быть лишь на 10% больше, а спиральные рукава при этом выглядят намного ярче, чем промежутки между ними.

Все сказанное имеет отношение к обычным спиральным галактикам, но это представляется весьма существенным для понимания природы различных интересных деталей во многих пекулярных и взаимодействующих галактиках, имеющих необычную на первый взгляд структуру. Прибегая к некоторому упрощению, можно сказать, что взаимодействие приводит к искажению картины обычного движения межзвездного газа и к резкому учащению столкновений облаков этого газа, а в результате он начинает усиленно конденсироваться в звезды.

Действительно, небольшое дополнительное (по отношению к основному полю галактики) гравитационное поле движущегося спирального рукава, накладывающееся на общее поле всей галактики, приводит к таким примечательным последствиям. А что же произойдет, если близко, и притом с небольшой скоростью, пройдет другая галактика?

Дополнительное гравитационное воздействие с ее стороны может быть существенно сильнее, чем со стороны уплотнения-волны в самой галактике. А это приведет к еще более эффективному образованию ударных волн, а также к увеличению или к уменьшению их амплитуды в существовавших ранее спиральных рукавах, а следовательно, будет стимулироваться или гаситься



Рис. 4. Сверхассоциации в системе взаимодействующих галактик NGC 4038 и NGC 4039 (показана внутренняя часть системы, в здесь не видна внешняя протяженная структура — длинные хвосты). Снимок получен на Южной станции ГАИШ в Крыму

процесс звездообразования. Структура самой звездной системы может при этом искажаться примерно так, как

это происходит в моделях гравитационного взаимодействия с наличием дисперсии скоростей.

Однако усиленное звездообразование в различных зонах галактики, которые могут быть, в частности, вырваны приливным взаимодействием и превращены в хвосты и перемычки, приводит к совсем иной картине, подобно тому, что мы видим, наблюдая яркие спиральные ветви, хотя уплотнение массы (числа звезд) не столь велико. К тому же и первоначальное распределение газа в галактике может быть сильно неоднородным и несимметричным.

Следует отметить, что при обычных относительных скоростях две галактики, связанные в одну систему, могут двигаться, почти соприкасаясь, очень долго — несколько сотен миллионов лет и более. Это существенно больше, чем время, необходимое для формирования молодых звезд. Поэтому усиление процесса звездообразования может наблюдаться сразу в нескольких областях, различных на разных этапах тесного сближения галактик.

Этим может объясняться наличие очень крупных газопылевых комплексов, в которых еще происходит или только что закончился процесс звездообразования. Сверхассоциаций в такой системе может находиться до нескольких штук и более (до несколько десятков), как, например, в галактиках NGC 4038 и NGC 4039 (рис. 4) или в некоторых из гнезд. И такая картина может в большей или меньшей степени скрывать от нас там две отдельные галактики.

Могут наблюдаться и узкие, яркие хвосты и перемычки, намного более четкие, чем это получается при численном моделировании гравитационного приливного взаимодействия. По-видимому, в расчетах на ЭВМ можно в некотором приближении учесть все рассмотренные здесь процессы, но смоделировать таким образом реальные объекты, скорее всего, нельзя хотя бы потому, что детально никогда неизвестно пространственное распределение в них масс и особенно газа. К тому же, возможно, подобная математическая задача не решается однозначно: одной и той же наблюдаемой сейчас картине могут соответствовать различные варианты структур, существовавших в прошлом.

В некоторых случаях может наблюдаться повышенная яркость отдельных деталей в какой-либо галактике

(например, одной из ее спиральных ветвей по сравнению с другой), если рядом находится вторая галактика, которая не сливается с первой. Указанное явление характерно для пары галактик, разделенных достаточно большим расстоянием, если движение галактик происходит по сильно вытянутым орбитам при периодических тесных сближениях галактик. При последнем сближении, примерно несколько сот миллионов лет назад, должны были произойти рассмотренные ранее процессы и сформироваться пекулярная структура. Таким образом получается так называемое взаимодействие на расстоянии.

Движение двух галактик по очень «тесной» и к тому же почти круговой орбите приводит к их взаимному очень сильному влиянию друг на друга в течение еще большего времени (несколько миллиардов лет) и к постепенному слиянию в один объект. В таком случае все описанные процессы выражены особенно сильно. Свойства излучения взаимодействующих галактик во многих случаях могут быть в значительной степени обусловлены распределением пылевидной материи, которое также, скорее всего, является пекулярным (т. е. сильно отличающимся от нормального для обеих галактик) вследствие взаимодействия, а также в результате появления пыли, выброшенной, например, световым давлением из крупных очагов звездообразования, существовавших на более ранних этапах взаимодействия.

Изучая множество двойных и, в частности, взаимодействующих галактик, И. Д. Караченцев сделал заключение, что наличие близкого соседа действительно усиливает звездообразование в галактике. К тому же, по современным данным, во взаимодействующих галактиках больше частота вспышек сверхновых, чем в обычных галактиках, что свидетельствует о повышенных темпах звездообразования. Ведь массивные звезды стареют и заканчивают свою эволюцию очень быстро (по космическим масштабам) — за немногие миллионы лет и даже еще быстрее. Завершающей стадией при этом является вспышка сверхновой.

Если процесс звездообразования не продолжается, то массивных звезд больше не образуется, а менее массивные, образовавшиеся ранее, эволюционируют намного медленнее. Вспышки же сверхновых если и происходят, то намного реже.

По спектральным характеристикам взаимодействующие галактики, как уже упоминалось, также отличаются от обычных. И результаты наблюдений также свидетельствуют в пользу того, что формирование интересных структур во многих взаимодействующих и пекулярных галактиках, содержащих достаточное количество межзвездного газа, происходит такими путями, как это сейчас было описано.

То же, скорее всего, можно сказать и о кольцевых галактиках. Большое их разнообразие обнаружил Б. А. Воронцов-Вельяминов еще при составлении Морфологического каталога галактик. М. А. Смирнов и Б. В. Комберг показāли, что в нормальных галактиках расположение обычных областей III тоже обнаруживает более или менее выраженные кольцевые структуры. Они также обосновали вывод о том, что более яркие, хотя и реже встречающиеся кольца, по-видимому, обусловлены теми же явлениями.

А. М. Фридман теоретически подтвердил возможность существования кольцевых структур, имеющих волновую природу, причем звездообразование происходит под воздействием ударных волн в межзвездном газе, как и в спиральных рукавах. Согласно этой теории, в соответствии с наблюдаемыми объектами, кольца могут быть как очень слабые, так и яркие (равные по яркости или превышающие яркость спиральных ветвей, хотя это и бывает редко). Интенсивность звездообразования и яркость колец зависят от соотношения величин давления газа и напряженности магнитного поля в этих объектах.

Вероятно, близкая галактика здесь также может играть роль тела, усиливающего процесс звездообразования. Ведь большинство галактик с яркими кольцами имеют возле себя близких спутников, а лобовые столкновения галактик друг с другом и с достаточно плотными межгалактическими облаками газа весьма редки. Они, как это было показано, могут объяснить лишь несколько процентов от общего количества кольцевых галактик.

Итак, причудливые структуры со сгустками, перемычками, хвостами, тонкими волокнами, кольцами и т. п., по-видимому, во многих случаях являются результатом внешнего искажающего воздействия на сложную волновую картину (со всеми соответствующими

щими ей явлениями) во вращающейся спиральной галактике. Такой внешней силой и есть гравитационное приливное воздействие со стороны другой, близко проходящей галактики. Оно представляет собой как бы «спусковой крючок» для всех последующих явлений, описанных в данном разделе.

Некоторые из них, особенно звездообразование и формирование областей НII, могут «прорисовывать» отдельные интересные детали так ярко, что мы наблюдаем уже не столько саму волновую картину, сколько эти «прорисованные» детали странной формы.

Приведем такую аналогию. Давайте понаблюдаем за поверхностью волнуемого моря. Если ветер не очень сильный, а глубина воды достаточно большая и берег далеко, то мы видим довольно правильную волновую картину. Но вот появилось какое-то внешнее искажающее воздействие: волны выходят на мелководье или ветер стал слишком сильным для данной высоты и длины волн или прошел большой корабль, создавший дополнительные волны, накладывающиеся на основные. И теперь, помимо простого искажения волновой картины (вспомним обычное искажение звездной системы — галактики), мы видим уже и другие явления совсем иного рода: с волн срываются белые пенные гребни различной величины и формы. Они ярко выделяются на поверхности моря и в первую очередь привлекают наше внимание.

Так и усиленные процессы формирования областей НII и молодых звезд являются следствием, явлением иного рода, но именно благодаря им образуются детали, столь явно выделяющиеся во многих взаимодействующих галактиках. В этом смысле замысловатые волокна, сгустки, всякие клочья, а нередко и хвосты и перемычки в галактиках напоминают «барашки» — белопенные гребни, срывающиеся с морских волн.

Между прочим здесь есть и более глубокая аналогия. В морских волнах движение каждой отдельной частицы воды происходит по почти замкнутой траектории, близкой к окружности. Если по каким-либо причинам с волны срывается гребень, то это означает, что частицы воды, которые в этот момент находятся вблизи вершины волны, прерывают свое периодическое движение и начинают двигаться вперед по направлению движения

волн, причем с существенно большей скоростью, сначала даже обгоняя саму волну.

Если рассматривать движение звезд во вращающейся системе координат, связанной с вращающейся галактикой, то они тоже описывают около своих средних положений окружности, радиусы которых существенно меньше расстояний соответствующих звезд от центра галактики. В неподвижной системе координат звезды движутся по определенным орбитам вокруг центра галактики. Такие движения создают картину сгущений и разрежений — движущихся спиральных волн плотности. В случае воздействия другой, близко проходящей галактики это движение может нарушиться, как нарушается и сама стройная картина волн плотности — с них «срываются барашки».

Оказывается, что это сравнение может помочь сделать некоторые интересные выводы о характере искажений структуры галактик при взаимодействии. Сами же гребни-«барашки» нередко хорошо заметны не столько за счет газа и звезд, изменивших свое движение, сколько за счет процессов звездообразования. Так и на морских волнах они выделяются не столько за счет изменения характера движения некоторых частиц воды, сколько за счет образования многочисленных пузырьков — пены.

Взаимодействие галактик — процесс сложный, при котором нередко одновременно происходят различные физические явления, и каждое из них оказывает существенное влияние на то, какая картина наблюдается. Гравитационное взаимодействие двух или более сблившихся звездных систем далеко не всегда определяет структуру наблюдаемых объектов. Вероятнее всего, очень часто оно является лишь иницирующим для развития других процессов: ударных волн в газе, различных неустойчивостей, связанных с действием гравитационных и магнитных сил.

Все это ведет к звездообразованию, иногда очень бурному, и притом в таких частях звездной системы, что это представляется нам «неожиданным», поскольку мы не знаем подробно о пространственных распределениях масс газа и звезд (и их скоростей) в удаленных галактиках (и даже в нашей Галактике). В некоторых случаях возможно существенное влияние межгалактической среды или же активного ядра самой галактики.

Рассмотренное относится лишь к тем случаям, когда в действительности наблюдаются две тесно сблизившиеся галактики. Однако весь класс объектов, называемых взаимодействующими галактиками, включает в себя, по-видимому, также и много систем, которые являются (или были ранее) одиночными галактиками, где происходят (или произошли) какие-то процессы, связанные с неустойчивостью и распадом, с активностью ядра или взаимодействием с межгалактической средой. Как уже отмечалось, процессы фрагментации, по-видимому, наиболее вероятны при формировании гнезд галактик и галактик типа М 51.

Многие взаимодействующие галактики, наверное, являются одним из примеров таких систем, когда невозможно рассчитать точно ожидаемую картину их формирования, хотя все физические законы, в соответствии с которыми протекают процессы, известны. Однако очень много явлений приходится учитывать, и слишком много имеется параметров, от каждого из которых сильно зависит результат. Так, например, невозможно точно рассчитать форму облака, которое проплывет, скажем, завтра в полдень над данной точкой поверхности Земли (ведь гораздо более простая задача: пойдет или не пойдет завтра дождь, и то не всегда решается верно).

Когда мы имеем дело с системами галактик, то все же не можем столь определенно утверждать, что знаем все физические законы (вспомним гипотезы о существовании еще неизвестных, негравитационных сил, действующих на очень больших расстояниях). Наконец, известны случаи, вроде бы весьма определенно свидетельствующие в пользу взрывной теории деления и происхождения галактик. Например, галактики IC 3481 и IC 3483 соединены очень длинной и достаточно широкой перемычкой и в то же время имеют разность лучевых скоростей около 7000 км/с. Вероятность случайной проекции очень мала. А при взаимодействии двух галактик, имеющих такие относительные скорости, перемычка никак не могла образоваться.

Даже оставаясь в рамках известных законов, как уже указывалось, мы приходим к выводу о сложности процесса взаимодействия, когда во многих случаях точный расчет ожидаемых форм невозможен. Поэтому подбор моделей для каждой отдельной взаимодействующей галактики, как правило, ничего не дает. Для одного и

того же такого объекта может существовать несколько моделей, совсем не похожих друг на друга, но претендующих на правильное объяснение наблюдаемой структуры. И вполне можно ожидать, что ни одна из них не соответствует действительности. К тому же подавляющее большинство взаимодействующих галактик являются очень удаленными системами, что тоже затрудняет получение однозначных выводов.

В связи с этим, наверное, для решения проблемы происхождения и эволюции взаимодействующих и peculiarных галактик, относительно которых имеется много противоречивых результатов и суждений, необходим следующий подход. Нужно наметить различные предполагаемые, гипотетические механизмы рассматриваемых явлений, варианты их возможного осуществления. Затем следует, насколько это возможно, теоретически оценить, какова вероятность реального действия данных механизмов (процессов) и к каким наблюдаемым характеристикам объектов (структура, скорости, спектральные характеристики и т. п.) они могут привести. После чего можно сделать сопоставление с частотой встречаемости «подходящих» типов объектов для проверки вероятностных оценок.

Таким образом, по-видимому, для любой взаимодействующей галактики можно указать несколько различных вариантов, объясняющих ее происхождение и эволюцию. А по мере накопления наблюдательного материала для каждого объекта можно исключать некоторые варианты, неоправдавшие себя предположения, постепенно приближаясь к правильному решению проблемы.

Вообще же, можно выделить два крайних (и отметим, сравнительно редких) случая, представляемых соответствующими подтипами объектов, среди взаимодействующих галактик. Первый, когда наблюдаемая картина почти полностью определяется только приливными искажениями звездных систем. К нему относятся взаимодействующие эллиптические галактики с широкими перемычками и другие системы, в которых эти приливные образования весьма слабые и сильно «размыты». Во втором случае наблюдаемая картина обусловлена практически только мощными процессами звездообразования, идущими почти по всей галактике (эти объекты

с гигантскими областями НII — сверхассоциациями). Между ними имеется много промежуточных случаев.

Вся эта совокупность объектов, по-видимому, охватывает бóльшую долю, но не все взаимодействующие галактики. Среди последних, как уже было сказано, есть и такие, для которых затруднительно подобрать даже какое-либо гипотетическое истолкование, не говоря уже о точных теориях и расчетах. Но изучение взаимодействующих и пекулярных галактик, а также тесных групп галактик становится от этого еще более интересным. Как полагает, например, Б. А. Воронцов-Вельяминов, оно может привести к открытию принципиально новых явлений в природе.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Агекян Т. А. Звезды, галактики, Метагалактика. Изд. 2-е. М., Наука, 1970.

Воронцов-Вельяминов Б. А. Внегалактическая астрономия. Изд. 2-е. М., Наука, 1978.

Воронцов-Вельяминов Б. А. Атлас и каталог взаимодействующих галактик. М., Изд-во МГУ, 1959.

Воронцов-Вельяминов Б. А. Очерки о Вселенной. Изд. 8-е, М., Наука, 1980.

Еремеева А. И. Вселенная Гершеля. М., Наука, 1966.

Ефремов Ю. Н. В глубины Вселенной. Изд. 2-е. М., Наука, 1977.

Зонн В. Галактики и квазары. М., Мир, 1978.

Радиоизлучение от рентгеновского пульсара

В предыдущем приложении уже сообщалось (см. *Новости астрономии*, 1983, № 1), что после долгих поисков других пульсаров в остатках Сверхновых был обнаружен пульсар в остатке Сверхновой MSH 15—52. Однако этот пульсар был выявлен в рентгеновском диапазоне, и вопрос о том, излучает ли он в радиодиапазоне, оставался открытым. И вот, наконец, появилось сообщение Р. Манчестера, И. Тохи и Ж. д'Амико (*Astrophys. J. Letts.*, 1982, т. 262, № 2) о том, что ими обнаружено радиоизлучение от пульсара, который получил теперь обозначение PSR 1509—58. Эти ученые занимались поиском радиопулсаров в остатках Сверхновых с помощью 64-метрового радиотелескопа в Парксе. Однако было решено использовать для этой цели более высокую радиочастоту обзора — 1400 МГц (обычно такие поиски осуществлялись на частотах около 400 МГц). В ноябре 1981 г. они обследовали рентгеновский источник G 320.4—12, центр которого лежит в пределах β' от рентгеновского пульсара MSH 15—52, и никакого пульсирующего радиоизлучения не обнаружили. В марте 1982 г., уже узнав точные координаты рентгеновского пульсара, ученые быстро выявили его радиоизлучение. Таким образом, и этот пульсар в остатке Сверхновой, так же как и остальные два, излучает в радио- и рентгеновском (и, может быть, в гамма-) диапазонах. Это первый случай обнаружения радиоизлучения от рентгеновского пульсара. Последнее и не удивительно, поскольку все остальные рентгеновские пульсары являются членами двойных звездных систем (видимо, очень плотная оболочка вокруг таких пульсаров препятствует обнаружению их радиоизлучения). Рентгеновский же пульсар MSH 15—52 представляет собой изолированный объект, подобно другим пульсарам в остатках Сверхновых. Итак, одна загадка пульсара PSR 1509—58 разрешилась, но остается еще невыясненной разница в возрастах пульсара (1570 лет) и остатка Сверхновой MSH 15—52 (6000—10 000 лет). Во всяком случае проведенные исследования радиоизлучения пульсара явно указывают на его связь с этим остатком.

Что происходит в центре Галактики?

Удивительный феномен SS 433, заключающийся в том, что этот объект имеет два противоположно направленных выброса газа, прецессирующих около оси вращения объекта, оказался свойствен (но в гораздо большем масштабе) некоторым галактикам. Недавно появилось сообщение (*Astrophys. J.*, 1982, т. 262, № 1) о том, что подобный же феномен (промежуточного масштаба) проявляется, может быть, в центре нашей Галактики. Исследования самых центральных областей Галактики выявили дискообразное образование из ионизованного газа, находящееся в пределах 1 пс в непосредственном центре Галактики. Анализируя распределение скоростей облаков ионизованного газа в этом 1-парсековом диске и исследуя распределение яркости радиоисточника Стрелец А в центре Галак-

тики, Р. Броун пришел к неожиданному выводу о существовании двух противоположно направленных выбросов газа из радионсточника, прецессирующих около него с периодом 2300 лет. Согласно модели, предложенной ученым, ось прецессии этих выбросов наклонена под углом 49° к лучу зрения и под тем же углом — к оси вращения радионсточника. Выбросы газа, движущегося со скоростью около 300 км/с, наклонены к оси вращения Галактики под углом 41° . Оценка потери массы этим гигантским «волчком» дает примерно 0,001 массы Солнца в год. Насколько такая картина соответствует действительности, должны показать дальнейшие наблюдения. Однако следует сказать, что, несмотря на возможную универсальность феномена SS 433 в природе, причины возникновения столь необычных пучков газа в астрофизических объектах все еще остаются неизвестными.

Еще одна «дыра» в Метагалактике

В последнее время все больше подтверждается наблюдениями ячеистая крупномасштабная структура Метагалактики, предсказываемая группой эстонских ученых во главе с Я. Э. Эйнасто. Согласно их представлениям, Метагалактика в основном состоит из огромных «пустот» (ячеек), обрамленных скоплениями и сверхскоплениями галактик. В конце 70-х годов стало появляться все больше сообщений об обнаружении «зон избегания» галактик размером 20—40 Мпс в случае постоянной Хаббла $H_0 = 100$ Мпс/(км/с) и в 2 раза большем при $H_0 = 50$ Мпс/(км/с). Все это усложнило представления о происхождении и эволюции галактик в начальные эпохи космологического расширения Метагалактики. Однако, согласно эстонским астрономам, размеры ячеек должны быть еще большими, что вызвало сомнение у многих ученых. Эти сомнения оказались поколебленными, когда в 1981 г. Р. Киршнер, А. Омлер, П. Шехтер и С. Шехтман сообщили, что ими обнаружена огромная «дыра» в Метагалактике диаметром около 80 Мпс при $H_0 = 100$ Мпс/(км/с), находящаяся от нас на расстоянии примерно 150 Мпс. Исследуя распределение ярких галактик, эти ученые выявили огромную «зону избегания» галактик с красными смещениями 0,04—0,06. Полный объем пространства, занятый этой «дырой», оценивается в 10^6 Мпс³ при $H_0 = 100$ Мпс/(км/с) и больше при меньших значениях H_0 . Пока продолжалась дискуссия ученых о возможном объяснении этого результата гигантской статистической флуктуацией, недавно появилось сообщение (Astrophys. J., 1982, т. 262, № 2) об обнаружении еще одной «дыры» в Метагалактике. К такому выводу пришли Н. Бакалл и Р. Сонейра, анализируя распределение близких (с красными смещениями 0,03—0,08) богатых скоплений галактик. Они выявили «зону избегания» этих скоплений размером около 100° на небе и совсем в другом направлении по сравнению с предыдущей «дырой». Размеры «дыры» составляют около 150 Мпс по лучу зрения и примерно 300 Мпс в поперечнике при $H_0 = 100$ Мпс/(км/с). Однако объем «дыры» также равен около 10^6 Мпс³. По всей видимости, представления эстонских астрономов о крупномасштабной структуре Метагалактики действительно подтверждаются.

Вращение Метагалактики?

К неожиданному открытию пришел английский астроном П. Бирч, изучая распределение яркости и поляризации излучения от 45 внегалактических радиоисточников. Поляризация нетеплового радиоизлучения объектов зависит от ориентации их магнитного поля, и вот оказалось (Nature, 1982, т. 397, № 5660), что исследуемые радиоисточники обособляются на небе в две отдельные группы, имеющие противоположную ориентацию магнитного поля. Вероятность случайного совпадения не превышает 1%. П. Бирч изучил еще три различные совокупности внегалактических радиоисточников, но обнаруженный эффект оставался действующим для каждой этой совокупности (всего 132 радиоисточника). Причем этот эффект не зависит от красного смещения (и, вероятно, расстояния), а также от типа внегалактического объекта (квзара или галактики). Поскольку совершенно исключается галактическое происхождение подобной анизотропии, то приходится предположить, что для различных объектов Метагалактики свойственна определенная преимущественная ориентация магнитного поля этих объектов, разнесенных в пространстве на расстояния до 30 млрд. св. лет и более. Причем наблюдается строгое обособление объектов в пространстве в зависимости от положительного или отрицательного позиционных углов ориентации с полюсом такой анизотропии, находящимся в точке неба с координатами $\alpha=2$ ч 15 мин, $\delta=+35^\circ$. Упорядоченное магнитное поле такой протяженности вряд ли возможно, и поэтому единственным вполне приемлемым объяснением обнаруженного феномена является вращение всей наблюдаемой части Вселенной. По оценкам П. Бирча, вращение Метагалактики происходит со скоростью 10^{-13} рад/год. Иначе говоря, она совершает один оборот за 10^{14} лет. Если открытие П. Бирча подтвердится в дальнейшем, то возникнет необходимость в пересмотре всех космологических моделей строения и эволюции Вселенной. Ведь ранее основывались лишь на расширении Метагалактики, и мало кто предполагал, что ей свойственно и глобальное вращение. Правда, в некоторых космологических теориях, в частности в теории неоднородной и анизотропной Вселенной, выдвинутой советским астрофизиком А. Л. Зельмановым, предусматривалась и такая ситуация.

Гало квазаров

В последние годы все более распространенным становится предположение о том, что все галактики обладают значительной протяженной оболочкой, называемой гало. Большой вклад в развитие таких представлений внесли советские ученые, в том числе С. Б. Пикельнер, а позже Я. Э. Эйнасто. Однако наличие гало у галактик предполагает существование гало и у квазаров, поскольку те, как считают, являются ядрами галактик. Неоднократно делались попытки обнаружить следы такого гало при изучении линий поглощения в их спектрах. Но до недавнего времени все известные случаи упорядоченных систем линий поглощения, обнаруженные в спектрах квазаров, объяснялись поглощением излучения далеких квазаров в гало галактики, находящейся между ними и земным наблюдателем и невидимой из-за слабости своего излучения (в том

числе проявление гало нашей собственной Галактики обнаружено в системе линий поглощения CIV в спектре квазара 3С 273). И вот появилось сообщение П. Шейвера, А. Боксенберга и Дж. Робертсона (*Astrophys. J. Letts.*, 1982, т. 261, № 1) о том, что ими при изучении пары квазаров Q 0028+003 и Q 0029+003, по всей видимости, обнаружено проявление гало одного из квазаров в системе линий поглощения в спектре другого. Спектроскопические измерения спектров этих квазаров, проведенные с помощью телескопов Англо-Австралийской и Южной западноевропейской обсерваторий, выявило несколько систем линий поглощения в спектре Q 0029+003, одна из которых характеризуется красным смещением 1,7334, которое лишь незначительно отличается от красного смещения самого квазара Q 0028+003. Данная пара квазаров разделена на небе угловым расстоянием 62", что соответствует линейному расстоянию 520 кпс. Все это, а также небольшая разница в скоростях удаления квазаров в 190 ± 70 км/с убеждают в том, что действительно в спектре Q 0029+003 проявляется гало квазара Q 0028+003. Однако не исключена возможность проявления гало галактики, близкой к квазару Q 0028+003 (входящей с ним в одно невидимое нам скопление) и находящейся на луче зрения между квазаром и земным наблюдателем. Во всяком случае, оценки химического состава гало указывают на его схожесть с обычным составом нормальных галактик.

Квазары — ядра эллиптических галактик?

Современные представления о том, что квазары представляют собой ядра крайне удаленных галактик, требуют подтверждения непосредственными наблюдениями. Однако пронаблюдать галактику, в которую вложен квазар, крайне сложно из-за слабости свечения галактики, если она удалена от нас на столь большое расстояние, как следует из красных смещений квазаров. Кроме того, обнаружить такую галактику чрезвычайно трудно, так как этому мешает свет самого квазара. И все-таки Дж. Тайсон, У. Баум и Т. Крейдл (*Astrophys. J. Letts.*, 1982, т. 257, № 1), кажется, удалось получить изображение галактики, в которую вложен ближайший к нам квазар 3С 273. Используя специальную аппаратуру, включая коронограф, затмевающий свет от квазара, они выявили слабую туманность около 3С 273. Если свет от 3С 273 «размазать» по области, занимаемой туманностью, то последняя окажется в 100 000 раз слабее этого света. Изучение того, как поверхностная яркость туманности спадает с расстоянием от центра (квазара), показало, что в этом обнаруженная туманность весьма напоминает гигантские эллиптические галактики, расположенные в скоплениях галактик. Это, во-первых, подтверждает, что туманность действительно является галактикой, а также косвенно указывает на принадлежность квазара 3С 273 некому скоплению галактик. Правда, полученные ранее оценки относительно характеристик галактической оболочки около квазара 3С 48 (см. *Новости астрономии*, 1982, № 1), свидетельствуют в пользу спирального типа этих галактик.

Квazarы в скоплениях галактик

На гигантские расстояния квазаров указывают их красные смещения, т. е. смещения линий в их спектрах в красную сторону. Эффект Доплера и закон Хаббла на основании этих красных смещений и дают столь огромные расстояния. До недавнего времени, однако, иногда высказывались сомнения по поводу доплеровской природы красных смещений в спектрах квазаров и активных галактик. Лишь с обнаружением квазаров и активных галактик в скоплениях и группах галактик с такими же красными смещениями эти сомнения отпали. Но интересно, что о вхождении квазаров и активных галактик в состав богатых скоплений галактик существовали недавно лишь предположения. Так, в 1981 г. Б. Маргон, Дж. Чанэн и Р. Доунс привели косвенные данные о возможном существовании там этих объектов. И вот, наконец, совсем недавно Дж. Стейнер, Дж. Гриндлей и Т. Мэккакэро сообщили (*Astrophys. J.*, 1982, т. 259, № 2), что, согласно их результатам активная галактика 1E 0412,5—0803 связана с группой галактик вблизи богатого скопления А 484, а активная галактика 1E 2304,9—2259 находится в богатом скоплении галактик А 2534. Столь странное обозначение галактик вызвано тем, что они выявлены из рентгеновских наблюдений с помощью орбитальной обсерватории «Эйнштейн». Исследования в оптическом диапазоне на 4-метровом телескопе указали на то, что они, во-первых, являются активными галактиками, а, во-вторых, входят в состав богатых скоплений галактик. Причем, по некоторым своим характеристикам, 1E 0412,5—0803 можно проклассифицировать как квазар.

Самый далекий квазар

Еще совсем недавно высказывалось мнение о возможном существовании предельного значения для красных смещений квазаров (где-то около 2,5). Но затем внезапно обнаружили два квазара, красное смещение которых превышало 3. Самый же далекий квазар выявили Б. Петерсон, А. Сейвэдж, Д. Янсей (*Astrophys. J. Letts*, 1982, т. 260, № 2) в 1982 г., в ночь с 25 на 26 марта, когда на Англо-Австралийской обсерватории проводились спектрометрические наблюдения объекта PKS 2000—330 в диапазоне длин волн 420—820 нм. Отождествление линий в его спектре дало красное смещение 3,78. Интересно, что как и все остальные квазары, обладающие красными смещениями больше 3, PKS 2000—330 является мощным радиоисточником. Несомненно, что исследуемый квазар — пока самый далекий из всех известных, однако о конкретном расстоянии до этого объекта можно делать лишь различные предположения. Дело в том, что при столь большом удалении квазаров от нас становится неприменимым к ним закон Хаббла в той простой формулировке, которая используется при оценках расстояний до далеких галактик. Здесь существенной уже становится конкретная космологическая модель расширения Метагалактики, а относительно этой модели существует много разногласий среди ученых. Поэтому и вопрос о расстояниях до квазаров с красными смещениями больше 3 остается открытым.

Внегалактическое звездное скопление

Как сообщают (Publ. A. S. P., 1982, т. 94, № 557), обнаружено скопление, которое, возможно, находится в 3 раза дальше от нас, чем Туманность Андромеды. Это открытие было сделано совершенно случайно Х. Арпом и Б. Мэдором, составляющих каталог пекулярных галактик по результатам обзора неба камерой Шмидта обсерватории Сайдинг-Спринг (Австралия). Исследуя очередной снимок, они вместо галактики вдруг увидели скопление нескольких десятков звезд (их блеск не превышает 2, 1-ю звездную величину) на угловом расстоянии $1'$ от звезды π Гидры. Пока неясно, является ли скопление AM-4 (характерное обозначение по первым буквам фамилий авторов каталога) шаровым или рассеянным. Сейчас известно уже несколько шаровых скоплений, находящихся за видимыми пределами нашей Галактики, но все они, вероятно, входят в состав ее гало. Однако скопление AM-4 находится гораздо дальше. Если его самые яркие звезды являются красными гигантами, то расстояние до AM-4 должно составлять 700 000 св. лет. Правда, если AM-4 относится к шаровым скоплениям, то расстояние до него может быть в 2—3 меньшим, но все равно значительно превышает радиус гало, в пределах которого находятся Большое и Малое Магеллановы Облака.

Загадочный белый карлик

Звезда BE Большой Медведицы, как предполагали, является самым горячим из известных белых карликов, имея поверхностную температуру 100 000 К. Однако проведенные недавно исследования Б. Маргоном, Р. Доунсом и Дж. Катцом выявили, что этот объект относится к двойной системе с весьма удивительными свойствами (Sky and Telescope, 1982, т. 64, № 3). Анализируя его переменность, проявляемую, в частности, в спектральных характеристиках, ученые пришли к заключению, что белый карлик BE Большой Медведицы на самом деле является весьма холодным компаньоном в системе, тогда как второй компаньон представляет собой горячий компактный красный карлик класса M2 с массой 0,4 солнечной. Эта ситуация выглядит необычной, поскольку в подобных двойных системах горячий белый карлик имеет в качестве компаньона холодную красную звезду главной последовательности. Таким образом, самый горячий белый карлик, вполне возможно, является холодным. Что же на самом деле есть в действительности, должны показать дальнейшие исследования.

Каковы размеры звезд в действительности

Звезды удалены от нас на столь большие расстояния, что практически представляют собой точечные объекты, неразрешаемые даже в крупнейшие телескопы. Тем не менее Д. Боне решил, используя 3,6-метровый телескоп Южной западноевропейской обсерватории, измерить размеры у звезды Миры Кита. Они весьма различаются у этой долгопериодической переменной звезды, если проводить исследования в различных интервалах длин волн. Из-за протяженной газовой оболочки вокруг звезды размеры Миры Кита

наименьшие в голубом свете, где атмосфера звезды прозрачна, и наибольшие — в красном (из-за сильного поглощения в полосе окиси титана). Интерферометрические измерения в ряде узких участков спектра в совокупности с более ранними наблюдениями Миры Кита, когда она была в максимуме своего блеска, привели Д. Боне к оценке ее размеров $0,028 \pm 0,006''$ (Astron. and Astrophys., 1982, т. 106, № 2). При принятом сейчас расстоянии до звезды в 250 св. лет, ее радиус должен в 230 раз превышать радиус Солнца.

Межзвездное облако вокруг Солнца

Как показывают исследования межзвездного поглощения в окрестностях Солнца, последнее окружено сильно ионизованной плазмой на расстоянии в несколько десятков световых лет, за исключением области пониженной ионизации в непосредственной близости от Солнца. Так, по крайней мере, следует из результатов, полученных Ф. Брухвилером и Й. Кондо, анализировавших линии поглощения в спектрах ультрафиолетового излучения ближайших белых карликов. На сильную ионизацию межзвездной среды вокруг Солнца (с концентрацией нейтрального водорода всего лишь $0,01-0,001 \text{ см}^{-3}$) указывали данные, полученные еще с помощью ИСЗ «Коперник» (ОАО-3). Новые спутниковые данные подтвердили этот вывод, но также и свидетельствуют о том, что Солнце находится в облаке пониженной ионизации (с концентрацией нейтрального водорода $0,1 \text{ см}^{-3}$) с размерами в 2—3 пс в наибольшей своей протяженности. Как считают Ф. Брухвилер и Й. Кондо, Солнце может находиться и на краю этого облака, двигаясь сквозь него со скоростью около 20 км/с (Astrophys. J., 1982, т. 259, № 1).

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Мир галактик	10
Классификация галактик	13
Взаимодействующие галактики. Наблюдения и первые гипотезы	18
Гравитационное взаимодействие галактик (расчеты на ЭВМ)	20
Взаимодействующие галактики — результат слияния	28
Взаимодействующие галактики — результат фрагментации	37
Проблема взаимодействующих галактик. Комплексный подход	40
Рекомендуемая литература	55
НОВОСТИ АСТРОНОМИИ	56

Владимир Георгиевич Метлов

ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИЕ ГАЛАКТИКИ

Гл. отраслевой редактор Л. А. Ерлыкин. Редактор Е. Ю. Ермаков. Мл. редактор Г. И. Родкина. Обложка художника А. А. Астрецова. Худож. редактор М. А. Гусева. Техн. редактор Н. В. Лбова. Корректор В. В. Каночкина.

ИБ № 5891

Сдано в набор 19.11.82. Подписано к печати 24.01.83. Т 01657. 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. 3,51. Тираж 28 000 экз. Заказ 2154. Цена 11 коп. Издательство «Знание», 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 834202.
Типография Всесоюзного общества «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

УВАЖАЕМЫЙ ПОДПИСЧИК!

Брошюры научно-популярной серии «Космонавтика, астрономия», выпускаемые издательством «Знание», посвящены современным проблемам космонавтики и астрономии. В розничную продажу брошюры не поступают и распространяются только по подписке (индекс «Союзпечати» 70101). В ближайшее время готовятся к изданию следующие брошюры:

**Воздействие окружающей среды
на материалы космических аппаратов**

Космическая система «Метеор»

Современные ракеты-носители

Современные достижения космонавтики

Ультрафиолетовая астрономия

Локальная система галактик

Карликовые галактики

Современные проблемы астрофизики

Каждую брошюру сопровождает приложение: «Хроника космонавтики», «Новости астрономии», «Уголок любителя-астронома», таблица запусков пилотируемых космических кораблей и т. д. Подписка на брошюры принимается ежеквартально в течение года.



СЕРИЯ **КОСМОНАВТИКА,
АСТРОНОМИЯ**