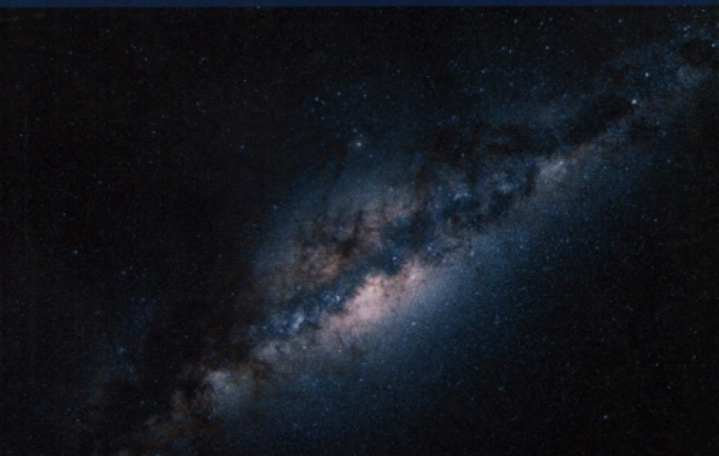


Наука
сегодня

Юрий Ефремов

МЛЕЧНЫЙ ПУТЬ



Наука
сегодня

Юрий Ефремов

МЛЕЧНЫЙ ПУТЬ



Фрязино
2006

УДК 524
ББК 22.66
Е 92

Ефремов Юрий Николаевич – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник ГАИШ МГУ им. М. В. Ломоносова.

Область научных интересов – переменные звезды, особенно цефеиды; звездные группировки и звездообразование, строение Галактики и галактик, история астрономии.

В его честь названа малая планета (12975) *Efremov*.

Ефремов Ю. Н.

Е 92 Млечный Путь. – Фрязино: «Век 2», 2006. – 64 с. – (Наука сегодня).

ISBN 5-85099-156-5

В книге рассказывается об устройстве нашей Галактики, о том, какие бывают звезды, о таинственной черной дыре в центре Галактики. Читатель вводится в проблему «с нуля», поэтому книга может быть интересна широкому кругу людей, не обладающих познаниями в астрономии, а специалисты найдут в ней самые последние данные.

На обложке: композитное изображение всего Млечного Пути. Фото с сайта ГАИШ www.sai.msu.su

Содержание

Предисловие	4
Звезды	8
Звездные группировки	20
Открытие Галактики – открытие Вселенной	35
Подсистемы Галактики	44
Карта Галактики	49
Ядро Галактики	59

Предисловие

Восемьдесят лет назад было окончательно доказано, что в бескрайнем океане Вселенной подобно островам разбросаны гигантские звездные системы — галактики, и что светлая полоса Млечного Пути — свидетельство того, что мы живем в одной из них, дискообразной Галактике (с большой буквы), имя которой — Млечный Путь. Наше Солнце — одна из тысячи миллиардов звезд Галактики, и расположено оно на ее далекой окраине. Сияние множества далеких звезд сливается в светлый туман Млечного Пути; его разложил (разрешил, как говорят астрономы) на звезды Галилей, когда навел на него свой первый телескоп. В наших широтах Млечный Путь лучше всего виден в августе, когда в середине ночи созвездие Лебедя поднимается к зениту, а на юге низко над горизонтом видны звезды Стрельца, в котором находится загадочный центр Галактики.

Положение Солнца близ плоскости симметрии дискообразной звездной системы обуславливает главную трудность при исследованиях строения нашей Галактики. Будь оно звездой короны Галактики, мы непосредственно видели бы грандиозную картину спиральных ветвей, которые сливаются сейчас вдоль луча зрения в аморфную полосу Млечного Пути. В плоскости Галактики расположена к тому же межзвездная газопылевая материя, поглощающая свет звезд. Это не только затрудняет определение расстояний, но и

вообще не позволяет увидеть в оптическом диапазоне центральные области Галактики и тем более — лежащие за ними районы. Первые представления о строении нашей Галактики родились поэтому в результате изучения других галактик. Лишь с их открытия начинается подлинное изучение системы Млечного Пути не как всеобъемлющей звездной Вселенной, а как одной из множества звездных систем.

Сто лет назад большинство астрономов было уверено в том, что кроме системы Млечного Пути во Вселенной ничего нет. Правильное представление о строении системы Млечного

Пути было обосновано наблюдательными данными лишь в середине 1920-х гг. Они положили конец многолетним диспутам о размерах нашей Галактики и месте Солнца в ней, равно как и о природе множества слабых туманностей: последние оказались далекими галактиками. Это была настоящая революция в астрономии. Менее чем за 10 лет, в 1916–1925 гг., Солнце было «перемещено» из центра единственной и объемлющей всю Вселенную звездной системы Млечного Пути на окраину одного из бесчисленных звездных островов в бескрайнем океане Вселенной.

Мир галактик бесконечно разнообразен. Громадное их большинство относится к карликовым системам, в сотни раз меньше системы Млечного Пути, размеры диска которого около 40 000 световых лет. Наша Галактика относится к самому красивому типу — к спиральным галактикам, в которых вокруг центра завиваются по спирали длинные цепочки молодых

Менее чем за 10 лет, в 1916–1925 гг., Солнце было «перемещено» из центра объемлющей всю Вселенную звездной системы на окраину одного из бесчисленных звездных островов в океане Вселенной.

звезд высокой светимости и газовых облаков. Молодые объекты есть и в диске Галактики вне рукавов, а в ее сфероидальной короне находятся исключительно старые звезды и звездные скопления. Это — правило для всех спиральных галактик, хотя морфология спиральных рукавов в каждой галактике своя. Эллиптические (точнее, эллипсоидальные) галактики состоят только из старых звезд, они удручающе однообразны и различаются только степенью концентрации к

Объяснение крупномасштабной структуры Вселенной и самого наличия в ней галактик — пограничная задача астрофизики и космологии. От ее решения мы еще очень далеки.

центру и размерами, в отличие от спиральных галактик, которые все — гиганты.

Наша Галактика находится в небольшом скоплении — Местной группе галактик. Она окружена десятком карликов, самые

большие и близкие — Магеллановы Облака, Большое и Малое. Они видны на южном небе и похожи на изолированные облачка Млечного Пути. Их относят к типу неправильных галактик: в них группы молодых звезд хаотически разбросаны по диску. Наш сосед, галактика Андромеды, также относится к спиральным системам; она больше нашей Галактики. Местная группа примыкает к более богатой системе галактик вокруг M81, а та, в свою очередь, — к огромному скоплению галактик в Деве. Изолированные галактики очень редки. Скопления галактик располагаются вдоль «стенок» гигантских пустот (войдов).

Объяснение крупномасштабной структуры Вселенной и самого наличия в ней галактик — пограничная задача астрофизики и космологии, науки о Вселенной в целом. От ее решения мы еще очень далеки.

В 1929 г. наблюдения галактик привели к выводу о расширении Вселенной, к середине XX в. мы поняли природу звезд — источники их энергии и основные закономерности их эволюции. Термоядерные реакции, обеспечивающие свечение звезд, научились воспроизводить на Земле, хотя и до сих пор еще только в режиме взрыва. В 1965 г. было обнаружено реликтовое фоновое излучение всего небосвода, предсказанное теорией ранних стадий расширения Вселенной.

Казалось, почти все о Вселенной (кроме физики ее рождения) мы уже знаем. Но с 1998 г. пошел новый шквал открытий, показавших, что нашим телескопам и физическим приборам доступно лишь около 4% вещества (или, что то же, плотности энергии) Вселенной. Это было обнаружено наблюдениями с использованием больших наземных телескопов и подтверждено данными астрономических спутников.

Во времена Ньютона и Лапласа астрономия служила стимулом для развития физики, в первой половине XX в. роли переменились — физическая теория позволила объяснить звезды. Теперь опять астрономия ставит новые задачи перед теоретической физикой. Пройдут, может быть, многие десятилетия, прежде чем они будут решены. И, как и раньше, успехи науки принесут человечеству новое могущество и решение многих проблем. А там наверняка встанут новые задачи, требующие все более глубоких знаний об основных составных элементах Вселенной — галактиках.

Мы ограничимся рассказом о нашей звездной системе и ее составляющих: звездах, звездных группировках и спиральных рукавах. Эти сведения — фундамент наших знаний о Вселенной.

Звезды — главные объекты астрономии. Именно их изучение позволило понять устройство мироздания, хотя теперь мы знаем, что их вклад в полную массу (плотность энергии) Вселенной — не более 1%.

Невооруженному глазу на всей небесной сфере доступно около 6 000 звезд. В древнейшем звездном каталоге, дошедшем до нас в составе «Альмагеста», свода астрономических знаний античности, составленного Клавдием Птолемеем во II в. н. э., насчитывается 1 022 звезды и три «туманные звезды», оказавшиеся впоследствии звездными скоплениями. В «Альмагесте» было сохранено сложившееся в глубокой древности деление неба на созвездия — там их было 48. Сейчас у нас 88 созвездий: их число увеличилось в основном за счет Южного полушария неба, недоступного древним. Новые созвездия получали имена вроде Телескопа или Сетки (нитей в окуляре телескопа), остальные сохранили знакомые многим, но странные в наши дни названия.

Что касается звезд, то собственные имена имеют лишь 275 наиболее ярких из них. Почти все они — свидетельство того, что возрождению знаний античности в Европе мы обязаны прежде всего их сохранности на Востоке и в арабской Испании в раннее Средневековье, когда церковь устами Козьмы Индикоплова учила, что Земля имеет форму чемодана. Имя звезды означает (кроме десятка случаев) лишь ее положение

в созвездии, указанное в «Альмагесте», переведенном на арабский язык. Так, Ригель (β Ориона) — всего лишь Нога небесного охотника. Звезды в созвездиях обозначают буквами греческого алфавита, более слабые — латинскими буквами и номерами, а затем уже просто номерами в различных каталогах. В самом полном современном каталоге (USNO B.1) насчитывается 1 045 913 669 звезд до 21-й величины. Попытки звездопродавцев, захвативших Московский планетарий (и превращающих его в придаток к ресторану и автостоянке), торговать именами звезд бессмысленны и незаконны, так как они все имеют имена, хотя бы в виде номера в каталоге.

Разделение звезд на «величины» также берет начало от каталога «Альмагеста», в котором самым ярким звездам была присвоена первая величина, а самым слабым — шестая. С появлением телескопов эта шкала была продолжена, и с развитием звездной фотометрии было принято условие, что разница в 5 величин соответствует различию блеска (количеству приходящей на Землю световой энергии) ровно в 100 раз (1 единица величины соответствует изменению блеска в 2,512 раза). Средний блеск 20 ярчайших звезд неба был принят равным 1-й величине — они в среднем в 100 раз ярче звезды 6-й величины. Точная фотометрия показала, что ярчайшая звезда неба Сириус (α Большого Пса), переливающаяся всеми цветами радуги низко на нашем зимнем небе, имеет звездную величину $-1,46$ (в желтых лучах), а блеск звезд Летнего треугольника, ярчайших на летнем небе, таков: Вега (α Лиры) $+0,03$, Альтаир (α Орла) $0,76$, и Де-

Имя звезды обычно означает ее положение в созвездии, указанное в «Альмагесте», переведенном на арабский язык.

неб (α Лебеда) 1,25. Слабейшие звезды, регистрируемые после многочасовых экспозиций на космическом телескопе им. Хаббла, имеют 30-ю звездную величину. Начиная с 21–22-й величины на небе уже больше далеких, часто звездообразных, галактик, чем звезд нашей Галактики — мы давно уже достигли ее границ.

Но что же такое звезда? Самое строгое определение было дано питерским астрофизиком В. В. Ивановым: «Звезда — это пространственно обособленная гравитационно связанная непрозрачная для излучения масса вещества, в которой в значительных масштабах происходили, происходят или будут происходить термоядерные реакции превращения водорода в гелий». Можно, конечно, просто сказать, что звезда — это раскаленный газовый шар, но это неточно, а для звезд ряда классов неверно.

Солнце — рядовая звезда Галактики, его диаметр в 109 раз, а масса — в 333 000 раз больше, чем у Земли. Наибольшая масса звезд составляет около 100 солнечных масс, наименьшая — около 0,1. Самые массивные звезды излучают энергии в 100 000 раз больше Солнца, но оно примерно в 200 000 раз ближе к нам, чем самая близкая звезда (она случайно похожа на Солнце), поэтому посылает на Землю в $200\,000^2$ раз больше лучистой энергии. Солнце движется вокруг центра Галактики, его скорость — около 200 км/с, период — около 200 млн лет. Из-за движения звезд (а для более близких звезд — также и Солнца) в пространстве они очень медленно перемещаются по небесной сфере (*собственное движение*); его определяют с помощью разнесенных во времени точных измерений координат звезд, а проекция вектора скорости на луч зрения (*лучевая скорость*) измеряется по смещению спектральных линий в спектре звезды (эффекту Доплера).

Но как мы узнали, что такое звезды, почему они светят? Чтобы понять природу звезд, надо прежде всего знать расстояния до них. Первоначально были известны лишь геометрические методы, пригодные только для близких звезд. Положение нашей планеты в пространстве изменяется вследствие обращения Земли вокруг Солнца, и положение звезд на небесной сфере также должно изменяться с периодом в один год — подобно тому, как изменяется положение близкого столба на фоне далекого леса, если смотреть на него то одним, то другим глазом. Зная расстояние между глазами и угол, на который смещается столб, школьник, изучавший геометрию, мог бы вычислить расстояние до столба.

Чтобы понять природу звезд, надо прежде всего знать расстояния до них.

Уже Копернику было ясно, что обнаружение параллактического смещения звезд было бы самым наглядным доказательством движения Земли вокруг Солнца. Но тщетно ждал ослепший Галилей, что его ученики обнаружат это смещение. Годичный параллакс звезд — угол, под которым со звезды виден радиус земной орбиты, — был измерен лишь в 1837–1840 гг. почти одновременно в России, Германии и Африке. Он равен угловому смещению звезды за год относительно более слабых и, следовательно, в среднем более далеких звезд. Конечно, измерить параллакс можно лишь для достаточно близких звезд. В. Струве в Дерпте (ныне Тарту) избрал Вега (α Лиры) из-за ее большой яркости, Бессель в Кенигсберге — β Лебедя из-за ее большого собственного движения и Гендерсон на мысе Доброй Надежды — α Кентавра, которая одновременно и ярка, и обладает большим собственным движением. Струве первым получил достаточно

точное значение. Выбор же Гендерсона оказался наилучшим: мы знаем теперь, что яркие звезды могут быть и сверхгигантами, находящимися на очень больших расстояниях.

Общепринятой в звездной астрономии единицей расстояния является *парсек* (пк; от слов «*параллакс*» + «*секунда*»). На расстоянии 1 ПК находится звезда, параллакс которой равен 1". Парсек составляет 3,363 светового года, или 206 265 астрономических единиц (а. е. — среднее расстояние Земли от Солнца), или $3,083 \cdot 10^{13}$ км. При изучении галактик используются килопарсеки (1 000 ПК) и мегапарсеки (1 000 000 ПК).

Звезды с большим параллаксом, чем у α Кентавра, не найдено до сих пор: это ближайшая к нам звезда, точнее, тесная система из двух связанных взаимным тяготением звезд, одна из которых очень похожа на Солнце; расстояние до нее — 1,33 ПК. Строго говоря, ближайшей к нам звездой является третий компонент системы Кентавра. Он намного меньше и холоднее Солнца и носит название Проксима («ближайшая») Кентавра. Это звездочка 11-й величины, она разделяет движение системы α Кентавра и, возможно, обращается вокруг нее с периодом в десятки тысяч лет. Она ближе к нам, чем α Кентавра, на 0,02 ПК.

Чтобы представить себе межзвездные расстояния, давно уже нет необходимости в воображаемом поезде, долгие годы следовавшем к α Кентавра на страницах научно-популярных книжек. Все знают, что полет к Луне, за 30 земных диаметров, занимает около недели. Межпланетная станция «Пионер-10» была запущена в феврале 1972 г.; 25 апреля 1983 г., пройдя 5 600 000 000 км, она пересекла орбиту Плутона, а 13 июня 1983 г. — орбиту Нептуна (часть орбиты Плутона вследствие ее большого эксцентриситета лежит

внутри орбиты Нептуна). В последний раз радиосигнал от станции был пойман 23 января 2003 г.; он летел 11 часов 20 минут. В 12490 г. «Пионер-10» окажется вблизи Летящей звезды Барнарда, на расстоянии 1,83 пк от нас. «Летящей» эта слабая звездочка названа потому, что из-за своей близости и высокой пространственной скорости она быстро, на 10" (секунд дуги) за год, перемещается по небу.

Определение параллакса звезд — одно из величайших событий в истории астрономии. Оно доказало, что звезды — далекие солнца, светящиеся слабо лишь из-за их удаленности. Ныне наиболее точные значения параллаксов звезд приходят с орбитальных телескопов. Астрометрический спутник «Гиппаркос», запущенный в 1989 г.,

Определение параллакса звезд — одно из величайших событий в истории астрономии. Оно доказало, что звезды — это далекие солнца, светящиеся слабо лишь из-за их удаленности.

позволил определить положения около 120 000 звезд с ошибкой около 0,001", и, значит, расстояние в 100 пк с его помощью можно было (в идеале) определить с ошибкой в 10%.

Сто парсеков составляют лишь 0,01 расстояния до центра Галактики, но другие геометрические методы работают вплоть до расстояний в 1–2 кпк. Они используют перемещение Солнца и звезд в пространстве, которые приводят к медленному изменению координат звезд и их скоростей по лучу зрения. Для определения расстояний до более далеких звезд используют фотометрию: блеск звезды убывает пропорционально квадрату расстояния до нее, и если известна ее светимость (количество излучаемой энергии), то можно найти и расстояние. Однако светимости звезд

различаются не в тысячи раз, как массы, а в миллионы, и определить их нелегко. Для этого, как и для понимания физики звезд в целом, потребовалось изучение их спектров: радужную полосу спектра пересекают темные, а иногда и яркие линии, признаки наличия в поверхностных слоях звезды определенных химических элементов.

«Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me!» — «Будь славной девочкой, поцелуй меня!» — первые буквы этой английской фразы, придуманной крупнейшим астрофизиком первой половины XX в. Г. Ресселом, соответствуют названиям спектральных классов звезд в порядке убыва-

Блеск звезды убывает пропорционально квадрату расстояния до нее, и если известна светимость, можно найти расстояние.

ния температуры. В звездах класса O видны лишь слабые линии поглощения гелия, класса A — доминируют водородные линии, G — многочисленные линии металлов, в звездах M

видны уже молекулярные полосы CN. Спектральная классификация звезд была разработана в Гарвардской обсерватории в конце XIX в. под руководством Э. Пикеринга, но лишь в 1925 г. Цецилия Пейн на основе теории, развитой М. Саха, окончательно доказала, что особенности спектральных классов звезд обусловлены различиями не химического состава, а температуры поверхности, определяющей степень ионизации элементов и интенсивность их линий. Звезды O, в спектрах которых есть линии гелия, наиболее горячи, а звезды M с многочисленными линиями металлов и даже молекулярными полосами наиболее холодны. Установлено, что звезды примерно на 70% состоят из H и на 25–30% — из He, на прочие элементы (в основном металлы) приходится иногда лишь доля процента.

Солнце — звезда с «нормальным» составом, тяжелые элементы составляют около 2% его массы.

Артур Эддингтон создал основы теории внутреннего строения звезд. Звезды — газовые шары, вес вышележащих слоев в них компенсируется давлением газа, а оно, при невысокой плотности, может быть обеспечено лишь очень высокой температурой. Поиск источников энергии звезд был центральной проблемой астрофизики в 1920–1930-е гг. Эддингтон окончательно доказал, что это не гравитационное сжатие: сроки жизни звезд в этом случае оказывались слишком малыми, быстрого уменьшения периода цефеид, неизбежного следствия сжатия, не отмечалось. Он считал, что источником энергии могут быть ядерные реакции, и еще в 1920 г. говорил: «То, что возможно в лаборатории имени Кавендиша (где работал Резерфорд), не может оказаться слишком трудным для Солнца».

В 1905 г. Эйнар Герцшпрунг обнаружил, что звезды классов К и М — гиганты или карлики, промежуточных светимостей у них не бывает. В 1910 г. к такому же выводу независимо пришел Генри Рессел. На построенной им диаграмме «спектр—светимость» для компонентов двойных звезд, помимо «главной последовательности» (ГП), уходящей по диагонали от звезд О к звездам М, были также и К и М — звезды высокой светимости. Сравнение с наблюдениями теоретической диаграммы Герцшпрунга–Рессела (Г–Р) — лучший способ проверки теорий звездной эволюции.

Разработано много способов определения светимости по спектрам или данным узкополосной фотометрии. Замечательная особенность этого метода — ошибка (в среднем 20%) не зависит от расстояния. Светимость, абсолютное количество излучаемой звездой энергии, выражается в единицах светимости

Солнца или в абсолютных величинах – звездной величине, которую звезда имела бы на расстоянии 10 пк. Светимость Солнца и расстояние до него соответствуют звездной величине $-26,75$, а его абсолютная величина равна $+4,82$ (в желтых лучах). Зная светимость, находят расстояние до звезды: блеск ослабевает пропорционально квадрату расстояния. Конечно, чтобы найти расстояние в километрах, надо знать расстояние от Земли до Солнца. Для межпланетных полетов оно было очень точно установлено путем радиолокационного определения расстояния Венеры и Марса. Относительное расположение планет в Солнечной системе точно известно на любой момент, поэтому легко определить и среднее расстояние от Земли до Солнца (1 а. е.); оно равно 149 597 900 км.

Большая проблема – ослабление видимой величины звезд из-за поглощения и рассеяния света частицами межзвездной пыли. Учитывать поглощение света научились лишь в середине XX в., и ныне инфракрасная астрономия пробивает любые пылевые облака.

Имеются спектральные линии, чувствительные не только к температуре, но и к плотности атмосферы. Плотность зависит от ускорения силы тяжести близ поверхности звезды, а оно гораздо меньше у сверхгигантов, чем у карликов, так как их массы больше в десятки раз, а радиусы – в сотни и тысячи. При одинаковой температуре в разреженных атмосферах сверхгигантов выше степень ионизации, и линии ионизованных элементов в их спектрах усилены. От давления в атмосфере зависят и ширины некоторых линий, например серии водородных линий; для ранних звезд они – хороший критерий светимости. Итак, одни лишь спектральные данные дают представление о положении звезды на диаграмме Г–Р.

В 1940-е гг. в Йеркской обсерватории В. В. Морган и его сотрудники дополнили спектральную классификацию классом светимости. Эта система (обозначаемая обычно МК, Моргана—Кинена) позволяет грубо оценить светимость звезды путем сравнения ее спектра со стандартным. В ней 5 классов светимости: Ia — яркие сверхгиганты (например, Денеб, A2Ia), Ib — слабые сверхгиганты (Канопус, F0Ib), II — яркие гиганты (Адара, B2II), III — гиганты (Арктур, K2III), IV — субгиганты (Процион, F5IV), V — карлики (Сириус, AIV; Солнце, G2V; α Кентавра, G2V и K5V). Подчеркнем, что это — названия последовательностей на диаграмме Г–Р, вдоль которых располагается большинство звезд соответствующих классов светимости, и они не всегда характеризуют светимость: среди звезд V класса, звезд главной последовательности, есть и звезды с абсолютной величиной +18 — воистину карлики, но есть и звезды класса O с величиной –6, ярче Солнца в 20 000 раз. Они ярче гигантов класса K, и все же называть их гигантами нехорошо, если после спектрального класса стоит индекс V.

Большинство ближайших звезд — желтые и красные карлики, хотя есть и гиганты. Но нет ни одного сверхгиганта, звезды класса O или B, ближе 4 пк от Солнца. Совсем иное дело диаграмма Г–Р для самых ярких звезд неба. Оказывается, α Кентавра и Сириус ярки лишь потому, что близки. Сверхгиганты Канопус, Денеб, Бетельгейзе излучают энергии в тысячи раз больше Сириуса и уступают ему в блеске только потому, что в сотни раз дальше его (рис. 1.1).

Гораздо более точные расстояния, чем звезды с известными классами светимости, дают цефеиды — переменные звезды, блеск которых изменяется со строгой периодичностью из-за пульсации их внешних сло-

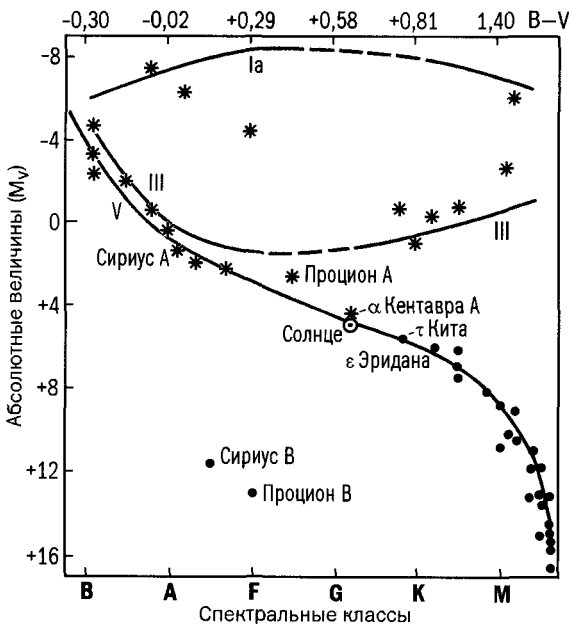


Рис. 1.1. Диаграмма Г–Р для ярчайших звезд неба (звездочки) и находящихся ближе 4 пк (кружки). Указаны последовательность ярких сверхгигантов (Ia), гигантов (III) и карликов (III, V). Вверху – шкала показателей цвета B–V (разность блеска в синих и желтых лучах). Сириус В и Процион В – белые карлики.

ев. Период пульсации определяется плотностью, а последняя – радиусом и массой. Чем больше светимость звезды, тем меньше ее плотность и больше период. Все цефеиды – звезды большой светимости (желтые сверхгиганты класса Ib) и поэтому доступны для наблюдений на больших расстояниях. Зависи-

мость между периодом и светимостью обнаружена у цефеид в 1913 г. по наблюдениям их блеска в Магеллановых Облаках.

К 1952 г. выяснилось, что цефеиды, входящие в шаровые звездные скопления, лишь по кривой блеска похожи на цефеиды галактического диска. Они слабее последних примерно на 1,5 величины при одинаковом периоде, что было одной из причин резкого занижения расстояний до близких галактик и приводило к оценкам возраста Вселенной, меньшим, чем возраст Земли. Точные светимости цефеид удалось определить лишь в 1960–1970 гг. при изучении тех из них, которые входят в состав рассеянных звездных скоплений, также принадлежащих к населению диска Галактики. Около половины всех таких цефеид было впервые изучено в Государственном астрономическом институте им. Штернберга МГУ. Принадлежность цефеид к звездным скоплениям известного возраста позволила эмпирически выявить для них зависимость период–возраст. Как и зависимость период–светимость, это следствие возрастания периода пульсации с убыванием плотности звезды, которая меньше у более массивных, ярких и молодых цефеид.

Ярчайшие цефеиды имеют светимость около -7 в желтых лучах и период около 100 дней. Космическому телескопу им. Хаббла они доступны вплоть до расстояний около 100 Мпк. Определение расстояний до далеких галактик по цефеидам — одна из ключевых программ этого телескопа, выполнение которой позволило существенно уточнить постоянную Хаббла, определяющую скорость расширения Вселенной. Однако это уже выходит за рамки нашей темы.

Звездные группировки

Почти все созвездия объединяют на картинной плоскости звезды, широко раскинутые в пространстве. Лишь яркие звезды Ориона составляют большую ассоциацию молодых звезд, а звезды Волос Вероники — гораздо более старое и компактное звездное скопление. Звездное скопление — это группа звезд, расположенных близко друг к другу и связанных взаимным тяготением. Звезды скопления образовались в едином процессе и более или менее одновременно. Сейчас в Галактике насчитывают 1 180 рассеянных скоплений и 135 шаровых. Точнее, столько их включено в каталоги: полное число шаровых скоплений может быть несколько больше, а рассеянных, гораздо меньших по количеству звезд, — заведомо больше в несколько десятков раз, поскольку они доступны нашим телескопам лишь в окрестностях Солнца.

Рассеянные скопления — это разреженные группы; они состоят из десятков и сотен, реже тысяч, звезд (рис. 2.1). Шаровые скопления — круглые образования, включающие десятки и сотни тысяч звезд, сильно концентрирующихся к центру скопления (рис. 2.2). Рассеянные скопления тяготеют к плоскости Галактики, шаровые — к ее центру. Шаровые скопления всегда имеют возраст около 12 млрд лет, рассеянные же образуются и в наше время, о чем говорят их диаграммы Г–Р: это обычно узкие полосы точек, тянущиеся вдоль ГП. Верхний конец цепочки отклоняется

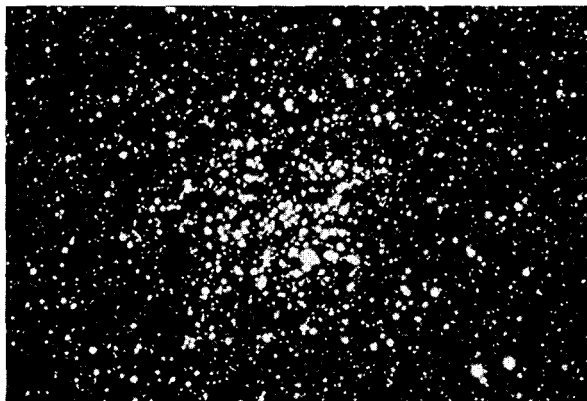


Рис. 2.1. Рассеянное звездное скопление M11
в созвездии Щита.

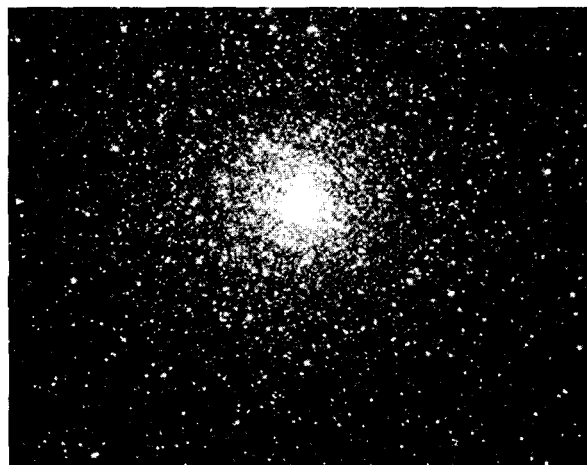


Рис. 2.2. Шаровое звездное скопление M80
в созвездии Скорпиона.

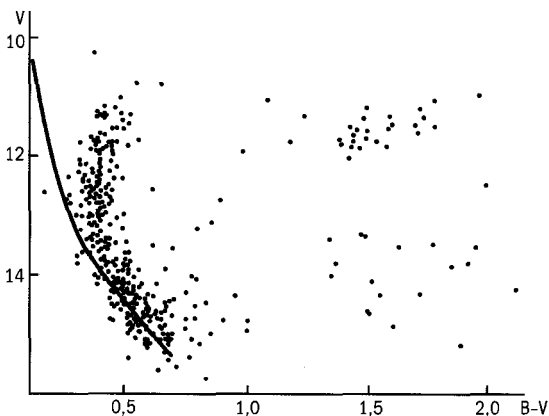


Рис. 2.3. Диаграмма «показатель цвета — звездная величина V » для рассеянного скопления M11. Наиболее яркие звезды отклоняются вправо от главной последовательности (кривая), еще более массивные звезды проэволюционировали в красные гиганты (в правом верхнем углу). Начиная с $V \sim 13$ становится заметной примесь звезд дальнего фона Галактики.

вверх и вправо. Часто имеется несколько красных гигантов, отделенных от ГП ненаселенной областью диаграммы — пробелом Герцшпрунга; по светимости они близки к ярчайшим звездам ГП скопления (рис. 2.3).

Совмещение ГП скопления, построенной в видимых величинах, с ГП для звезд из окрестностей Солнца, полученной в абсолютных звездных величинах, позволяет определить модуль расстояния, равный величине сдвига диаграмм вдоль оси ординат, нужного для такого совмещения. Расстояния до скоплений поэтому определяются с хорошей точностью, если только известна величина поглощения света в межзвездной пыли по дороге к нам.

Теория звездной эволюции появилась в середине XX в., когда выяснилось, что источником энергии звезд являются ядерные реакции синтеза. Это окончательно установил к концу 1930-х гг. Г. Бете. Поскольку возраст и химический состав звезд в скоплениях одинаков, различие их положения на диаграмме Г–Р определяется лишь скоростью их эволюции, зависящей от массы. В звездах ГП идет превращение водорода (из него на 70% и состоят звезды) в гелий, как в водородных бомбах. Это наиболее многочисленные звезды: стадия горения водорода – самая продолжительная в активной жизни звезды. Длительность этой стадии пропорциональна массе звезды и обратно пропорциональна светимости, ибо от массы зависит запас ядерного горючего, а от светимости – темп его расходования. Но светимость пропорциональна кубу массы, поэтому массивные звезды эволюционируют быстрее.

Источником энергии звезд являются ядерные реакции синтеза. Это окончательно установил к концу 1930-х гг. Г. Бете.

Отклонение вправо верхнего конца ГП скоплений понятно: наиболее массивные звезды уже израсходовали запасы водорода, их ядро сжалось под действием гравитации и начало нагреваться, внешние слои расширились и стали охлаждаться; на диаграмме Г–Р эти звезды уклоняются вправо вверх от ГП, а затем быстро перескакивают в красные гиганты или сверхгиганты, чем и вызван обрыв ГП при больших светимостях. Чем ярче звезды верхнего конца ГП скопления, тем оно моложе.

Разнообразие диаграмм Г–Р скоплений в первом приближении связано с различием их возраста (рис. 2.4).

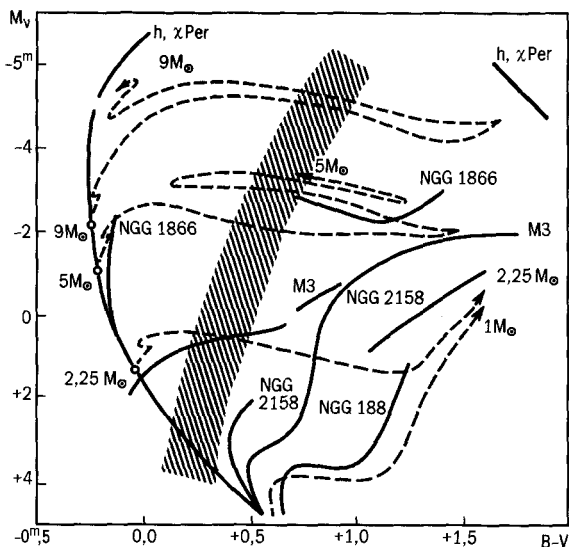


Рис. 2.4. Сводная диаграмма «цвет — абсолютная величина M » для четырех рассеянных и одного шарового (M3) скопления. Пунктиром показаны пути эволюции звезд разных масс (в единицах массы Солнца) по диаграмме, начиная от ГП. Заштрихована полоса нестабильности, попадая в которую в процессе эволюции, звезды становятся цефеидами и другими пульсирующими переменными. Указаны номера скоплений по каталогу NGC или Мессье.

Термоядерные реакции происходят в центральных слоях звезд, где температура достигает нескольких десятков миллионов градусов. Такая температура — результат гравитационного сжатия, завершающего этапа конденсации протозвезды из плотного газового облака. Когда начинается ядерное горение водорода — превращение его в гелий, — дальнейшее сжатие звезд

ды прекращается. Истощение водорода в ядре звезды приводит к охлаждению и сжатию ядра. Вследствие этого температура снова повышается и становится достаточной для включения термоядерной реакции превращения гелия в углерод. Дальнейшая судьба звезды определяется последовательной сменой термоядерных реакций, разной у звезд различной массы. Углерод может далее превращаться в кислород, и цепочка термоядерных реакций синтеза, при которых выделяется энергия, продолжается, пока не образуются элементы группы железа.

Равновесие звезды поддерживается газовым давлением, которое успешно противостоит силе тяжести, стремящейся стянуть вещество звезды к ее центру.

Это давление возникает из-за высокой температуры, обеспечиваемой термоядерными реакциями, и оно существует, пока не истощатся запасы ядерного горючего. После этого звезда малой массы превращается в сверхплотный белый карлик, или нейтронную звезду, а звезда с массой, большей 5–6 масс Солнца, должна, вообще говоря, сжаться за пределы так называемого гравитационного радиуса. После достижения звездой этого радиуса даже кванты излучения не могут оторваться от нее, и она исчезает для внешнего наблюдателя, поэтому такой объект и называют черной дырой.

Однако иногда (а для звезд с массой больше 8 солнечных, возможно, и всегда) заключительные стадии эволюции звезд сопровождаются грандиозной катастрофой — взрывом звезды. При этом звезда излучает в

Термоядерные реакции происходят в центральных слоях звезд, где температура достигает нескольких десятков миллионов градусов в результате гравитационного сжатия.

течение нескольких суток столько же энергии, сколько целая галактика, состоящая из многих миллиардов обычных звезд. Это явление получило название вспышки сверхновой. Взрыв начинается с гравитационного коллапса звезды — падения к центру, лишенному теперь источников энергии. Механизм перехода коллапса во взрыв, сметающий оболочки звезды, не вполне еще ясен. В результате остается нейтронное

Понимание природы звезд и их эволюции — величайший и незыблемый успех науки. Теория внутреннего строения и эволюции звезд стала фундаментом наших представлений о Вселенной.

ядро — бешено вращающийся (в силу закона сохранения момента вращения) пульсар, а межзвездная среда обогащается тяжелыми элементами, выработанными при термоядерных реакциях в недрах звезды и в процессе самого взрыва.

Понимание природы звезд и их эволюции — величайший и незыблемый успех науки. Теория внутреннего строения и эволюции звезд стала фундаментом наших представлений о Вселенной. Можно возразить: а разве всеобщая убежденность в понимании какого-либо явления не оказывалась порой необоснованной? Однако теория ядерных реакций проверена и в земном эксперименте (водородная бомба), и в космическом. К 2001 г. эксперименты на нейтринной обсерватории в Садбери (Канада) и на установке Супер-Камиоканде в Японии позволили установить, что полный поток нейтрино всех трех типов точно соответствует стандартной модели внутреннего строения и источников энергии Солнца.

Таким образом, созданная на основе изучения звездных скоплений теория строения и источников

ных тел часто рассматривались как единое «учение», что побуждало противников В. А. Амбарцумяна выступать и против самой реальности звездных ассоциаций. Битва разгорелась на II совещании по вопросам космогонии в мае 1952 г. и закончилась победой В. А. Амбарцумяна. Он и его сторонники заняли господствующие высоты в отечественной астрономии.

Критики «учения об ассоциациях» (которое позднее стало называться бюраканской концепцией) оспаривали и реальность существования звездных ассоциаций, и их расширение. Станным образом роль поступления в окружающую среду энергии, вырабатываемой внутри звезд — в виде звездного ветра и расширяющихся зон III вокруг O-звезд, а также при взрывах сверхновых, недоучитывалась. Правда, для должной оценки ее влияния

Проблема сейчас состоит в том, как вообще объяснить рождение массивных гравитационно связанных скоплений.

необходимы были еще современные знания о весьма низкой эффективности звездообразования в большинстве протоскоплений. Если достаточно быстро уходит большая часть газа, новорожденная звездная группировка становится гравитационно несвязанной и довольно скоро должна стать большой и разреженной, так что будет классифицироваться как ассоциация. Возможно, острых дискуссий и не было бы, если бы этот простой механизм расширения и распада ассоциаций был тогда общепринят, как сейчас. Он был известен давно, но сведения о низкой эффективности звездообразования в молекулярных облаках накопились лишь в 1980-е гг.

Проблема сейчас состоит в том, как вообще объяснить рождение массивных гравитационно связанных

скоплений, ведь в них обязательно должны были быть O-звезды и сверхновые. В некотором смысле протоскопления действительно оказались плотными ненаблюдаемыми (примерно до 1975 г.) телами. Плотность молекулярных облаков, состоящих в основном из молекулярного водорода, намного выше, чем у порождаемых ими звездных скоплений, они действительно являются протозвездными телами: звезды образуются при гравитационном коллапсе самых плотных их областей. Однако еще и в 1986 г. В. А. Амбарцумян утверждал, что и звезды, и туманности образуются из чего-то другого (и с тех пор по этому вопросу публично не высказывался). Эта настойчивость в отстаивании заведомо безнадежной концепции кажется странной, вряд ли он сам не понимал ее безнадежности. И. С. Шкловский в разговоре с автором в декабре 1984 г. назвал ее лысенковщиной и добавил, что и социальные корни те же... Впрочем, говорят, в частных разговорах В. А. Амбарцумян признавал, что «концепция» стала подобием фирменного знака Бюраканской обсерватории, от которого не след отказываться.

В спиральных рукавах галактик давно были известны образования еще бóльших размеров, чем ассоциации, — гигантские звездные облака, однако до 1970-х гг. была общепринята точка зрения, что они являются случайно образовавшимися генетически не связанными конгломератами звезд. В 1975–1979 гг. автор представил аргументы в пользу предположения, что, помимо звездных скоплений с размерами до 20 пк и звездных ассоциаций размерами 30–200 пк, существуют еще более обширные группировки, объединяющие как отдельные звезды, так и скопления и ассоциации. Возраст таких группировок — до 100 млн лет, а размеры — до 1 кпк; я назвал их «звездными

комплексами». Один из них — Местная система, обширная уплощенная группировка молодых звезд, диаметром примерно 800 пк, наклоненная к плоскости Млечного Пути на 18° . Первые признаки ее существования нашел американский астроном Гульд около 150 лет назад: он заметил, что ярчайшие звезды неба концентрируются к большому кругу («поясу Гульда»), наклоненному к экватору Млечного Пути. В 1927 г. голландский астроном Сирс предположил, что Местная система аналогична звездным облакам, из которых состоят спиральные рукава галактик.

Звездные комплексы в нашей Галактике, выделенные первоначально в основном по данным о пространственном распределении цефеид, также концентрируются в спиральных рукавах. Благодаря зависимостям период—светимость и период—возраст расстояния и возрасты для цефеид определяются столь же уверенно, как и для рассеянных скоплений.

Знание возрастов цефеид оказалось очень полезным при изучении звездных комплексов и ассоциаций в галактике Андромеды (М31). В 1964 г. известный канадский астроном С. Ван ден Берг выделил в ней около 200 группировок голубых звезд со средним поперечником 500 пк. Он рассматривал эти группировки как ОВ-ассоциации, а их вдесятеро большие, чем в нашей Галактике, размеры объяснил тем, что окраинные части ассоциаций в нашей Галактике теряются в более плотном, чем в М31, звездном фоне. Иными словами, Ван ден Берг предположил, что истинные размеры ОВ-ассоциаций намного больше, чем считалось раньше. Однако от классических ОВ-ассоциаций обширные группировки, выделенные в М31 по голубым звездам, отличались еще и концентрацией к ним цефеид, которые в среднем имеют возраст около

50–100 млн лет сравнительно с 5–10 млн лет для O-звезд. После выделения звездных комплексов в нашей Галактике стало ясно, что в М31 они выглядели бы в точности как группировки, описанные в этой галактике Ван ден Бергом под названием ОВ-ассоциаций.

Представления о звездных комплексах, находящихся в спиральных рукавах галактик, вскоре были теоретически обоснованы американским ученым

Сверхассоциация — это молодой звездный комплекс, целиком охваченный бурным звездообразованием.

Б. Эльмегрином, развивавшим представления о формировании в газовых дисках галактик под действием гравитационной неустойчивости сверхгигантских

облаков массой около 10 млн солнечных масс и размерами около 1 кпк. Такие облака должны возникать быстрее, чем облака меньшей массы, и особенно быстро — в пределах спиральных рукавов.

Отдельные образцы сверхоблаков были известны и раньше, как и немногочисленные сверхгигантские группировки O-звезд — сверхассоциации; теперь же представлялось, что масштаб сверхоблаков — звездных комплексов не только максимален для областей звездообразования, но и наблюдается во всех дисковых галактиках.

Иногда говорили, что в представлениях о звездных комплексах нет особой новизны, поскольку равные им по размерам сверхассоциации давно были выделены В. А. Амбарцумяном и его сотрудниками в ряде галактик. Однако это редкий тип звездных группировок: в галактике Андромеды можно выделить лишь одну сверхассоциацию (NGC 206), тогда как звездных комплексов — около двух сотен.

Можно сказать, что сверхассоциация – это молодой звездный комплекс, целиком охваченный бурным звездообразованием. Однако далеко не все звездные комплексы проходят через эту стадию, обычно в комплексе наблюдается несколько ассоциаций с возрастом около 10 млн лет и десятков цефеид с возрастом 50–100 млн лет. Разброс возрастов в сверхассоциациях намного меньше, цефеид в них нет совсем. Они появятся через несколько десятков миллионов лет, и звездные комплексы – потомки сверхассоциаций, сохраняющие исходный диапазон возрастов, можно распознать по необычно высокой плотности и малому разбросу периодов цефеид. Такая группировка действительно наблюдается близ восточной оконечности бара Большого Магелланова Облака. Примерно 100 млн лет назад она, очевидно, была похожа на находящуюся к северу от нее сверхассоциацию 30 Золотой Рыбки.

Какая-то внешняя причина стимулирует и синхронизирует звездообразование в сверхассоциациях, тогда как в обычных комплексах оно идет спонтанно и обусловлено гравитационным коллапсом.

Видимо, какая-то внешняя причина стимулирует и синхронизирует звездообразование в сверхассоциациях, тогда как в обычных комплексах оно идет спонтанно и обусловлено гравитационным коллапсом: сформировавшиеся вследствие гравитационной нестабильности и турбулентных движений более плотные облака дают начало молодым звездам, а затем молодые горячие звезды и взрывы сверхновых уплотняют окружающий газ, стимулируя дальнейшее звездообразование. Но когда горячих звезд становится слишком много, газ нагревается и звездообразование

прекращается. В звездно-газовой экосистеме возникает саморегулирующийся процесс перехода вещества из газовых облаков в звезды, доля газа в галактике постепенно убывает.

Звздообразование, идущее в газовых облаках разного масштаба, должно быть иерархическим, приводящим к появлению вложенных друг в друга звездных группировок разного размера. Можно сказать, что звездная группировка всегда вложена в группировку большего возраста и размера. Действительно, по данным о нашей и соседних галактиках, 90% ОВ-ассоциаций находятся внутри гигантских звездных комплексов, а внутри самих ассоциаций расположены меньшие области продолжающегося ныне звездообразования. Предположение о том, что звездообразование в меньших облаках должно идти быстрее, чем в больших, – во временной шкале, характерной для развития турбулентности в облаке, – существенно изменяет существовавшие ранее представления.

Должны измениться и наши взгляды на природу ОВ ассоциаций. Первые звезды, родившиеся в меньших активных областях внутри большой области – в звездном комплексе, – успеют уже превратиться в цефеиды с характерным возрастом около 50 млн лет, прежде чем звездообразование закончится во вновь образовавшихся внутри комплекса ассоциациях.

Открытие Галактики — открытие Вселенной

Еще в 1916 г. Альберт Эйнштейн, впервые построивший модель Вселенной, считал само собой разумеющимся, что населена она звездами. Как и почти все ученые, он полагал тогда, что система Млечного Пути — это и есть вся Вселенная.

В 1921 г. голландский астроном Якоб Каптейн посетил в Бонне своего друга, астрометриста и исследователя звездных скоплений Ф. Кюстнера, и поделился с ним своими соображениями о строении системы Млечного Пути. Соображения эти показались Кюстнеру довольно гипотетичными, и он спросил Каптейна, не рано ли еще прибегать к умозрительным заключениям, не подождать ли, пока накопится

Еще в 1916 г. Альберт Эйнштейн, впервые построивший модель Вселенной, полагал, что система Млечного Пути — это и есть вся Вселенная.

больше наблюдательных данных. Реакция Каптейна на эти слова навсегда запомнилась Кюстнеру. Каптейн пришел в ярость. Он топнул ногой и закричал: «Я не могу ждать! Я хочу знать это теперь!»

Схема строения Млечного Пути, предложенная Каптейном, представляла собой двояковыпуклую линзу диаметром около 20 000 пк, на расстоянии всего 650 пк от центра которой находится Солнце. Послед-

няя работа Каптейна, в которой он отстаивал эту схему, вышла в 1922 г., в этом же году он и умер, убежденный в своей правоте. А прав оказался Шепли, с которым Каптейн так яростно спорил... Американский астроном Х. Шепли в 1919 г. пришел к выводу, что находящийся в направлении созвездия Стрельца центр системы шаровых скоплений — это одновременно и центр всей системы Млечного Пути. Концентрацию шаровых скоплений в Стрельце (где на 2% площади небесной сферы находится треть всех скоплений) Шепли объяснил повышением пространственной плотности скоплений к центру звездной системы и тем, что Солнце находится от этого центра очень далеко. Насколько далеко — ответ дали цефеиды, найденные в шаровых скоплениях. Опираясь на них, Шепли определил положение в пространстве семи десятков шаровых скоплений. Расстояния до них казались огромными: до центра системы шаровых скоплений — т. е. до центра системы Млечного Пути — было, по Шепли, 50 000 световых лет. Солнце оказалось на далекой окраине, размеры нашей звездной системы удесятерились! Однако составляет ли она все мироздание, есть ли что-нибудь за ее пределами?

Еще в XVIII в. высказывалось подозрение, что видимые кое-где на небе слабые туманные пятна могут быть огромными звездными системами, слишком далекими для того, чтобы мы могли различить в них отдельные звезды. Простым глазом видно лишь одно из них — туманность Андромеды. В XIX в. в неразрешимых на звезды туманностях предпочитали видеть планетные системы в процессе образования — в духе гипотезы Лапласа. В 1890 г. Агния Клерк в книге о развитии астрономии в XIX в. писала: «Вопрос о том, являются ли туманности внешними галактиками, вряд ли

заслуживает теперь обсуждения. Прогресс исследований ответил на него. Можно с уверенностью сказать, что ни один компетентный мыслитель перед лицом существующих фактов не будет утверждать, что хотя бы одна туманность может быть звездной системой, сравнимой по размерам с Млечным Путем». Только относительно Магеллановых Облаков, в которых еще Джон Гершель наблюдал и звезды и туманности, Клерк была в сомнении и допускала, что они могут быть и за пределами Млечного Пути; все же остальные объекты, как звезды, так и туманности, «принадлежат к одному огромному звездному агрегату».

Хотелось бы знать, какие из нынешних столь же категоричных утверждений окажутся со временем столь же неверными... Заметим, что за сто лет до Клерк было высказано диаметрально противоположное суждение. «По-видимому, звезды... собраны в разнообразные группы, некоторые из коих содержат миллиарды звезд... Наше Солнце и ярчайшие звезды, возможно, входят в одну из таких групп, которая, очевидно, и опоясывает небо, образуя Млечный Путь». Эта осторожная — и совершенно правильная — формулировка принадлежит великому Лапласу.

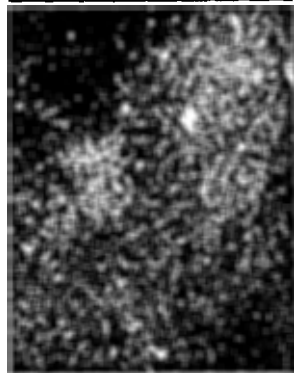
В начале XX в. фотографии, полученные Килером с помощью 36-дюймового рефлектора, показали, что этому телескопу доступно не менее 120 000 слабых туманностей. Многие из них показали на фотографиях спиральную структуру — два, а иногда и больше длинных рукава отходили от ядра туманности и закручивались вокруг него. Слабые туманности стали поэтому называть спиральями. Впервые такая структура была обнаружена лордом Россом у туманности M51 еще в 1845 г. с помощью построенного им гигантского по тем временам телескопа-рефлектора.

Разреженные газовые туманности показывают линейчатый спектр, состоящий из ярких линий излучения водорода, кислорода и т. д., тогда как непрерывный спектр Солнца и звезд обусловлен свечением плотного газа, на фоне которого линии излучения превращаются в линии поглощения. Звездный (непрерывный и с линиями поглощения) спектр пылевых туманностей вокруг скопления Плеяды, отражающих свет звезд, казалось, подтверждал мысль о том, что вопрос о природе «спиралей» невозможно решить спектральными исследованиями. Спектр этих туманностей позволил В. Слайферу предположить, что и спектр туманности Андромеды (М31) объясняется отражением на пылевых облаках света центральной «звезды» (т. е., как мы знаем ныне, ядра этой галактики). В 1914 г. он обнаружил, что лучевая скорость туманности Андромеды составляет -300 км/с. Это значение превышало известное для любых других небесных объектов, но уже в следующем году Слайфер нашел, что некоторые спиральные туманности имеют скорости до $+1100$ км/с, при этом 11 из 15 изученных им спиралей удалялись от нас. Эта странность спиралей, как и отсутствие их в плоскости Млечного Пути (в «зоне избегания»), ставила их в особое положение. Открытие Слайфера было провозвестником грядущего обнаружения расширения Вселенной.

Еще в 1914 г. Артур Эддингтон объяснил отсутствие спиралей в плоскости Млечного Пути экранированием их слоем поглощающего свет вещества, но на лучших снимках туманностей Андромеды и Треугольника некоторые астрономы уже тогда усматривали отдельные звезды (рис. 3.1). Однако судьбу гипотезы «островных вселенных» решили надежные определения расстояний до «спиралей», впервые выполнен-

Рис. 3.1. Галактика Андромеды (вверху) и ее юго-западный (нижний правый) «угол», разрешенный на звезды.

ные американским астрономом Э. Хабблом. С помощью 100-дюймового рефлектора, вступившего в строй в 1918 г. в обсерватории Маунт-Вилсон (до 1948 г. — крупнейшего в мире), к концу 1924 г. Хаббл нашел в туманности Треугольника (М33) 47 очень слабых переменных звезд и 12 похожих звезд в М31. Он определил их периоды и нашел, что характер изменения их блеска таков же, как и у цефеид данного периода в окрестностях Солнца. Сомнений в том, что переменные звезды в М33 и М31 — тоже цефеиды, не было. На лучших



фотографиях звезды в этих «туманностях» можно было увидеть давно, но не было доказательств того, что это именно отдельные звезды.

Кривые блеска цефеид разрешили все сомнения. Примененная Хабблом зависимость период—светимость указывала, что расстояние до М33 составляет 285 кпк. Даже при завышенных Шепли размерах Га-

лактики это расстояние уводило туманность Треугольника далеко за пределы Млечного Пути. Примерно такое же расстояние вскоре получили для М31.

1 января 1925 г. на съезде Американского астрономического общества был прочитан доклад Хаббла, и спор был окончен навсегда. Расстояния до неразрешимых на звезды спиральных и эллиптических «туманностей» можно было теперь в первом приближении оценить просто сравнением их угловых размеров с М31 и М33. Речь шла уже о миллионах парсек. Границы Вселенной бесконечно раздвинулись, и она явилась наполненной миллиардами звездных островов (рис. 3.2).

Э. Хаббл продолжал исследования галактик, которые привели его вскоре к доказательству расширения Вселенной и поставили его имя в ряды величайших ученых всех времен. Ему принадлежит и наиболее распространенное до сих пор деление галактик на эллиптические (от E0 до E7, от круглых до вытянутых), спиральные (S и SB, простые и пересеченные, в которых спиральные ветви начинаются от концов перемычки) и неправильные (Irr). Позднее он ввел тип линзовидных галактик (S0), которые столь же плоски, как спиральные, но спиральных ветвей не имеют.

Классификация Хаббла проста и удобна, исключения из нее, если не считать двойных, взаимодействующих галактик, единичны. Более того, различие форм галактик оказалось связано с различием их звездных населений. В дисках спиральных галактик концентрируются газ и молодые звезды, которые практически полностью отсутствуют в эллиптических галактиках. Старые звезды есть и в спиральных галактиках, но они образуют сфероидальную подсистему, концентрируясь к центру галактик. В неправильных галактиках



Рис. 3.2. Скопление галактик, преимущественно эллиптических.

отсутствуют и спиральные рукава, и сфероидальная составляющая, доля старых звезд в них невелика.

Морфология галактик, таким образом, тесно связана с историей звездообразования в них, и эта проблема еще далека от решения. Если звездная галактика произошла из единого протогалактического газового облака, как считают многие астрономы старшего поколения, то различия в морфологии определяются сочетанием исходной массы и момента вращения. Спиральные протогалактики вращались быстро, и газ в них оседал к плоскости вращения, где и поныне продолжается звездообразование, а в массивных медлен-

но вращающихся эллиптических протогалактиках звездообразование быстро завершилось во всем объеме, и сейчас газа уже не осталось. В нашей Галактике все шаровые скопления имеют близкий возраст, около 12 млрд лет, поскольку перед эпохой оседания газа к диску была короткая эпоха бурного звездообразования в исходном сфероидальном облаке. Но сейчас известны эллиптические галактики с большим и часто дискретным различием возрастов массивных скоплений.

Развивается гипотеза, что эллиптические галактики являются результатом слияния спиральных. Во всяком случае, взаимодействие галактик имеет место

Взаимодействие галактик имеет место на всех масштабах; и внутри нашего Млечного Пути есть остатки когда-то захваченных и «полупереваренных» карликовых галактик.

на всех масштабах; и внутри нашего собственного Млечного Пути имеются остатки когда-то захваченных и «полупереваренных» карликовых галактик. Галактики ведь близки друг к другу в пространстве, расстояния между ними со-

ставляют первые сотни, а то и десятки их диаметров (и в скоплениях галактики буквально соприкасаются друг с другом). Однако столкновений звезд можно не опасаться: расстояния между ними (вдали от центра галактик) относительно их размеров — как расстояния между двумя-тремя людьми, разбросанными на пространстве от Земли до Луны. Поэтому при столкновениях галактик со звездами ничего не происходит; галактики — это воистину «видимое ничто», как заметил А. В. Засов. А вот газовые облака сталкиваются, оседают к центру, что вызывает там бурное звездообразование.

...Встретившись с Шепли в Гамбурге в 1920 г., Бааде спросил его, почему он не продолжает исследования галактик. На только что опубликованном снимке М33, полученном Ричи, как вспоминал Бааде, было видно, что система просто усыпана звездами. Однако Шепли отвечал, что изображения незвездные, слишком размыты, и убедить его не удалось. Он считал, что определенные им размеры системы Млечного Пути столь велики, что она вмещает и далекие туманности. Увидеть можно только то, что считаешь возможным увидеть... Когда в начале 1920-х гг. Хьюмасон показал Шепли несколько переменных звезд — вероятных цефеид, отмеченных им на пластинке с изображением туманности Андромеды, Шепли стер его отметки: в этой газовой туманности не могло быть звезд!

В 1921 г. Шепли ушел из обсерватории Маунт-Вилсон и стал директором Гарвардской обсерватории. То, что мог бы сделать он, сделал Хаббл. Убежденность Шепли оказалась предубеждением. Когда оно рассеялось, он активно включился в исследование галактик, и само внедрение этого термина — отчасти его заслуга: Хаббл предпочитал говорить «внегалактические туманности». Но было уже поздно. «Завоевание мира туманностей, — писал Хаббл, — это достижение больших телескопов». А у Шепли в Гарварде их не было.

Участники этой драмы не так уж давно ушли со сцены. Они открыли человеку мир, в котором он живет. А между тем имена первопроходцев Вселенной известны гораздо меньше, чем даже второсортных беллетристов...

Подсистемы Галактики

Шепли чуть ли не до середины 1930-х гг. полагал, что мы живем в тесной группе галактик, которую образуют Млечный Путь, Магеллановы Облака (неправильные галактики, наши спутники) и «Пояс Гульда» – плоская система звезд вокруг Солнца, наклоненная к плоскости Млечного Пути на 18° , поперечником около 800 пк. Это просто один из звездных комплексов Галактики, сюда забрело при своем вращении вокруг галактического центра наше Солнце, которое намного старше звезд – членов комплекса. Пояс Гульда до сих пор часто называют Местной системой.

Решающую роль в понимании устройства нашей Галактики сыграло обнаружение ее вращения. К 1925 г. была установлена странная асимметрия в направлении движений шаровых скоплений: они все движутся в одну область Млечного Пути, и скорости их при этом очень велики, порядка 200 км/с. Небольшая доля звезд также обладает высокими скоростями и показывает такую же асимметрию движений. Через год Б. Линдبلاد объяснил это тем, что объекты с высокими скоростями образуют почти сферическую систему, члены которой концентрируются к центру Галактики, а большинство звезд в окрестностях Солнца, оно само, а также рассеянные скопления входят в плоскую систему, объекты которой находятся в быстром вращении вокруг центра Галактики. Система шаровых скоплений, наоборот, как целое движется во-

круг этого центра очень медленно, чем и объясняется высокая их скорость относительно быстро обращающихся вокруг центра Галактики Солнца и других объектов диска. Понятно, что направление векторов скоростей членов сфероидальной системы должно быть перпендикулярно к направлению на центр Галактики. И действительно, оно с точностью до нескольких градусов указывает на положение центра системы шаровых скоплений, найденных Шепли.

Вращение Галактики было окончательно доказано в 1927 г. Яном Оортом. Он исходил из двух предположений — «твердотельного» вращения и вращения по законам Кеплера. В первом случае, при однородном распределении вещества в Галактике, она вращалась бы как патефонная пластинка, расстояния между всеми ее точками сохранялись бы неизменными. Если значительная доля массы Галактики сосредоточена в ее центре, движение звезд вокруг него должно напоминать обращение планет вокруг Солнца и подчиняться законам Кеплера, а линейные скорости звезд — убывать пропорционально корню квадратному расстояния от центра. Это различие в скоростях можно обнаружить, определяя лучевые скорости звезд в разных направлениях от Солнца. Зависимость лучевых скоростей от направления вдоль плоскости Галактики тогда должна показать двойную волну — кривую с двумя максимумами и двумя минимумами. Взяв лучевые скорости звезд классов O и B и цефеид, Оорт показал, что так оно и есть.

Решающую роль в понимании устройства нашей Галактики сыграло обнаружение ее вращения.

Центр вращения Галактики действительно лежит в направлении созвездия Стрельца, а зависимость ско-

рости вращения от расстояния до центра (кривая вращения) ближе к кеплеровской, чем к твердотельной. Однако на больших расстояниях от центра скорость вращения перестает уменьшаться, и это говорит о том, что там преобладает вклад темного гало Галактики, внешних частей его короны. Это характерно почти для всех галактик. Природа объектов, составляющих это гало, неизвестна, хотя его масса может на порядок превосходить массу звезд и газа.

На больших расстояниях от центра Галактики преобладает масса темного гало, внешних частей его короны. Это характерно почти для всех галактик. Природа объектов, составляющих гало, неизвестна, хотя его масса может на порядок превосходить массу звезд и газа.

В 1944 г. Вальтер Бааде с помощью 100-дюймового телескопа разложил на звезды центральную часть туманности Андромеды и обнаружил, что это звезды того же типа, из которых состоят шаровые скопления. Он заключил, что деление звезд и скоплений Галактики на быстро вращающийся диск и медленно вращающуюся сфероидальную подсистему, найденное Линдбладом и Оортom, связано с различием физических характеристик входящих в них объектов.

К 1940-м гг. было надежно установлено, что в Галактике имеется центральное «вздутие» (балдж), окруженное дискообразной системой объектов населения I (молодые звезды, газ, рассеянные скопления и ассоциации) и галактической короной (гало) — почти сферической, менее густонаселенной системой, состоящей из объектов населения II — старых звезд и шаровых скоплений. Это деление на звездные подсистемы хорошо заметно на фотографиях спиральных галак-

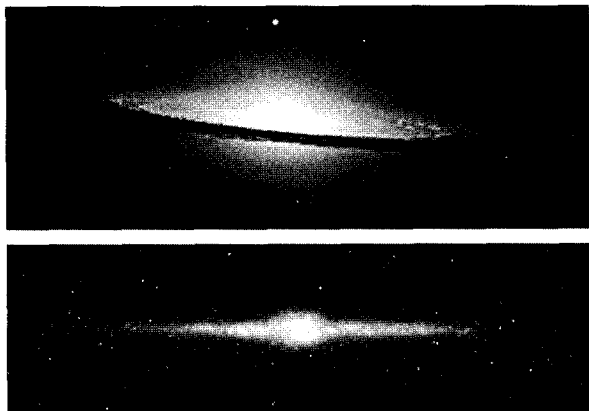


Рис. 4.1. Вверху — спиральная галактика NGC 4594, видимая почти с ребра; внизу — наша Галактика (составное изображение Млечного Пути, полученное в инфракрасных лучах в мелком масштабе).

тик, особенно тех, которые видны почти «с ребра». Современные широкоугольные изображения Млечного Пути, полученные в инфракрасных (ИК) лучах, обнаруживают такую же структуру, на них можно увидеть и центральное вздутие. Наша система похожа на галактику NGC 4594 в созвездии Девы (рис. 4.1), у которой великолепно видно деление звездного населения на плоскую и сфероидальную системы и концентрацию поглощающей свет пылевой материи к экваториальной плоскости. Многие звездообразные объекты, видимые на снимке, являются шаровыми звездными скоплениями этой галактики.

Размеры, масса, закономерности вращения нашей Галактики очень напоминали характеристики ближайшей спиральной системы М31 в созвездии Андроме-

ды; логично было считать, что наша Галактика также имеет спиральные ветви. Концентрация звезд и газа в диске, где продолжается звездообразование, наблюдается

и в неправильных галактиках, но их массы, как следует из скоростей вращения, меньше на 1–2 порядка. Наличие у Галактики балджа также доказывает ее принадлежность к спиральным системам: у неправильных галактик балдж отсутствует. Понятно, что наша Галактика не может относиться к типу эллиптических — само наличие полосы Млечного Пути доказывает существование дискообразной подсистемы, отсутствующей у эллиптических галактик. Нет в них и газа и молодых звезд, многочисленных в Галактике.

Размеры, масса, закономерности вращения нашей Галактики очень напоминают характеристики ближайшей спиральной системы М31 в созвездии Андромеды; логично считать, что наша Галактика также имеет спиральные ветви.

Карта Галактики

Эллиптические галактики и гало спиральных галактик устроены одинаково: населяющие их старые объекты распределены в пространстве хаотично, но их плотность возрастает с приближением к центру. Молодые же звезды и скопления образуют в диске галактики большие сгущения — звездные комплексы, а в спиральных галактиках еще более грандиозные структуры — рукава, иногда описывающие один и даже два оборота вокруг центра галактики. Определить их положение в нашей Галактике — давняя мечта астрономов. Задача очень трудная, ибо мы сидим в диске, в той же плоскости, что и спиральные рукава.

Эта задача важна не только для построения чертежа нашей Галактики. Объекты, входящие в их состав, детальнее всего можно исследовать именно в системе Млечного Пути. Спиральные рукава галактик — столь красивое и характерное образование, что их понимание издавна казалось критически важным для всей проблемы структуры и эволюции галактик и даже всей нашей Вселенной. Джеймс Джинс, основоположник теории гравитационной конденсации звезд из газа, писал в 1929 г., что пока спиральные рукава остаются необъясненными, нельзя поверить в теории образования галактик. И он даже предполагал, что в ядрах галактик в нашу Вселенную вбрасывается вещество из каких-то неведомых нам пространств и затем вращение галактик закручивает эти вбросы в спи-

ральные рукава. Однако рукава, как правило, исходят не из самого центра, и, кроме того, отсутствуют движения, направленные из центра вдоль рукавов. Тем не менее роль ядер галактик как точек, в которых рождается вещество нашей Вселенной, и сейчас еще отстаивается несколькими крупными астрономами.

Ключ к локализации рукавов в нашей Галактике дали исследования близких галактик. Главным образом работами В. Бааде на 100-дюймовом рефлекторе в 1945–1949 гг. было установлено, что в туманности

Картина спиральной структуры в окрестностях Солнца сильно зависит от наблюдательной селекциии: мы обнаруживаем и изучаем лишь более яркие и, следовательно, в среднем более близкие объекты.

Андромеды в спиральных рукавах концентрируются прежде всего горячие звезды высокой светимости, эмиссионные туманности (облака водорода, ионизованного излучением горячих звезд), а также пыль. Мы знаем теперь, что пылевые частицы (в основном

углерода) всегда входят в состав облаков молекулярного водорода, которые являются наиболее плотными участками облаков атомарного водорода.

К 1963 г. было установлено, что наиболее молодые скопления концентрируются в трех отрезках спиральных ветвей, а старые объекты распределены в диске Галактики равномерно. В окрестностях Солнца скопления, содержащие звезды O-B2, концентрируются в отрезках спиральных рукавов, угол закручивания которых (т. е. угол между ними и проведенными вокруг центра Галактики окружностями) составляет около 25°. С тех пор все оптические исследования в целом подтверждают существование этих трех отрезков; по названию созвездий, в направлении которых в основ-

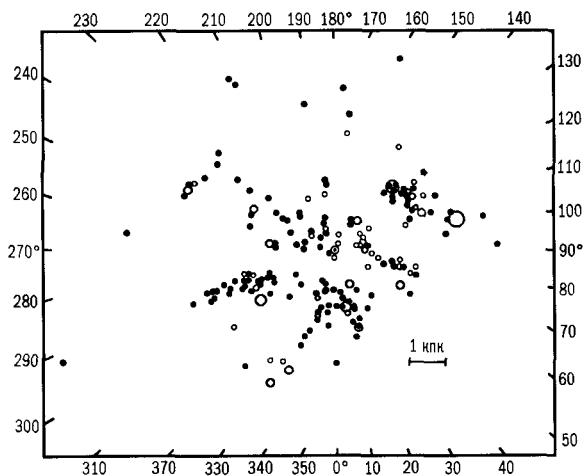


Рис. 5.1. Отрезки спиральных рукавов в окрестностях Солнца (в центре), очерчиваемые расположением звездных ассоциаций (кружки) и молодых скоплений. Центр Галактики — в 8 кпк от Солнца внизу.

ном проецируются яркие части рукавов, им были даны названия рукавов Персея, Ориона—Лебеда (или Солнечного, Местного рукава, потому что Солнце находится близ его внутреннего края) и рукава Стрелец—Киль (рис. 5.1).

Картина спиральной структуры в окрестностях Солнца сильно зависит от наблюдательной селекции: мы обнаруживаем и изучаем лишь более яркие и, следовательно, в среднем более близкие объекты. Кроме того, за пылевыми облаками видимая плотность звезд может быть меньше просто потому, что поглощение света на несколько величин ослабляет блеск.

Далеким объектам в оптическом диапазоне просто недоступны, и для выявления спиральных рукавов во

всей Галактике необходимо использовать данные о распределении нейтрального водорода, для излучения которого на длине волны 21 см межзвездная среда прозрачна. Концентрация пыли в спиральных рукавах М31 уже показывала, что рукава должны быть богаты газом, и с 1970-х гг. радиоастрономические данные доказали, что в других галактиках нейтральный водород действительно располагается вдоль спиральных ветвей (рис. 5.2).

В развитии этого направления отечественные астрономы были в числе первых. В 1947 г. стало известно, что, по расчетам молодого голландского астронома Х. Ван де Хюлста, межзвездный водород излучает на длине волны 21 см, т. е. в радиодиапазоне, а в следующем году И. С. Шкловский показал, что эту радиолинию можно наблюдать уже при тогдашнем уровне развития радиотехники. «Эти расчеты, — вспоминает он, — были опубликованы в 1949 г., после чего я приложил максимум усилий, чтобы линия 21 см была открыта экспериментально в нашей стране. Я не жалел слов, чтобы зажечь экспериментаторов энтузиазмом и направить их усилия в этом направлении». Как рассказывал И. С. Шкловский, сначала все шло хорошо, талантливый радиоастроном В. В. Виткевич начал конструирование оригинального приемника монохроматического излучения водорода Галактики. И вдруг в начале 1950 г. все работы были остановлены. Лишь через два десятилетия В. В. Виткевич раскрыл Шкловскому причину этого. Бывая в доме Л. Д. Ландау, однажды он рассказал авторитетному физику о проекте «21 см». Академик отреагировал с присущей ему категоричностью: «Но откуда Шкловский взял плотность водорода в межзвездной среде? Это же чистая патология». Этой «рецензии» было достаточно...

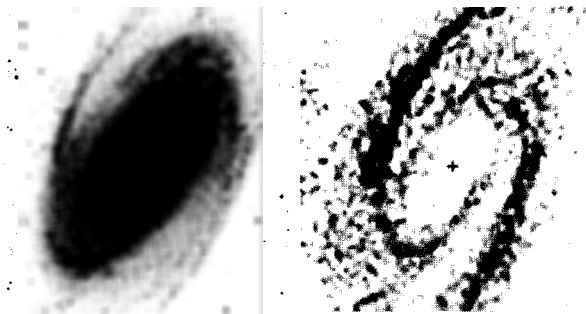


Рис. 5.2. Спиральная галактика М81 (NGC 3031). Слева – оптическое изображение (негатив), справа – в линии нейтрального водорода (21 см).

Этот рассказ И. С. Шкловского о пагубности слепого следования научным авторитетам дорого ему обошелся. Будучи в 1982 г. редактором стенной газеты ГАИШ, я выбрал для публикации именно этот отрывок из рукописных тогда мемуаров И. С.; единственным его условием было не делать купюр внутри выбранного фрагмента. Через некоторое время директор ГАИШ получил возмущенное письмо от академика И. М. Лифшица, который усмотрел в публикации оскорбление памяти Ландау. По-видимому, инициатива публикации была приписана Шкловскому. И в ноябре 1984 г., встретив меня при входе в ГАИШ, И. С. сказал: «Вот, Юра, из-за вашей газетки не видать мне академства, Лифшиц совершенно сбесился». Правда, мемуары к тому времени были опубликованы отдельной брошюрой. Но академиком И. С. Шкловский не стал...

В 1951 г. линия нейтрального атомарного водорода 21 см в радиоспектре галактического излучения была обнаружена в США и Австралии, а в 1954 г. Оорт,

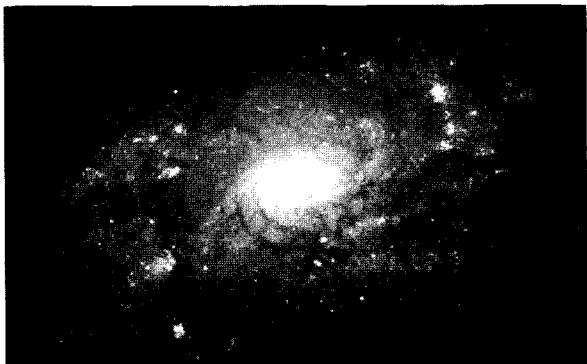


Рис. 5.3. Спиральная галактика NGC 3949 с фрагментарными рукавами.

К какому же типу принадлежат спиральные рукава Галактики? Проблема построения чертежа спиральной структуры всей нашей Галактики, а не только окрестностей Солнца, не решена и поныне. Представления о нем можно получить лишь соединением оптических данных из окрестностей Солнца и данных о молекулярном и атомарном водороде, доступных для всей Галактики. На наш взгляд, ключевое значение имеет то, что газовые сверхоблака бесспорно обрисовывают ветвь Киля, простирающуюся на 40 кпк с углом закручивания $10\text{--}12^\circ$. Они состоят из гигантских молекулярных облаков, окруженных нейтральным атомарным водородом, характерная их масса – около 10 млн. солнечных. Вся ветвь Киля находится дальше солнечного круга от центра Галактики, неоднозначности в определении расстояний по лучевым скоростям и кривой вращения Галактики не возникает. Более того, с тем же углом закручивания эту ветвь можно экстраполировать и в первый квадрант галактических дол-

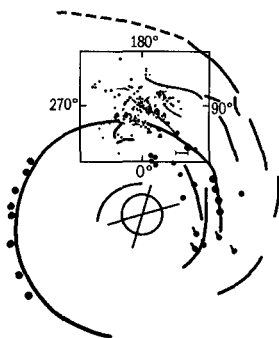


Рис. 5.4. Спиральный рукав Киль — Стрельца, определяемый положением водородных сверхоблаков (черные кружки). Отмечена область вокруг Солнца, изображенная на рис. 5.1. Отрезки прямых указывают возможные предельные положения бара Галактики. Другие рукава изображены не полностью!

гут (там она называется рукавом Стрельца), при этом она проходит как раз через находящиеся в нем сверхоблака, расположенные вдоль рукава Киль—Стрелец регулярно, с характерным расстоянием около 1 кпк или кратным этому значению — некоторые места оказываются пустыми. Такая регулярность характерна именно для галактик (вроде M81, см. рис. 5.2), обладающих правильным симметричным спиральным узором (имеющих «grand design»); о наличии его в нашей Галактике говорит бесспорное существование столь длинного рукава Киль—Стрелец (рис. 5.4).

Можно попытаться реконструировать по имеющейся детали — рукаву Киль — весь облик спирального узора нашей Галактики. Для начала повернем этот рукав на 180° вокруг центра Галактики. Оказывается, что этот гипотетический симметричный рукав проходит через наблюдаемые газовые облака лишь далеко за центром Галактики; там вдоль него имеются и оптические трассеры. Наблюдаемый гораздо более четко и в оптике, и в радиодиапазоне рукав Персея при этом должен соответствовать одному из другой пары симметричных спиральных рукавов.

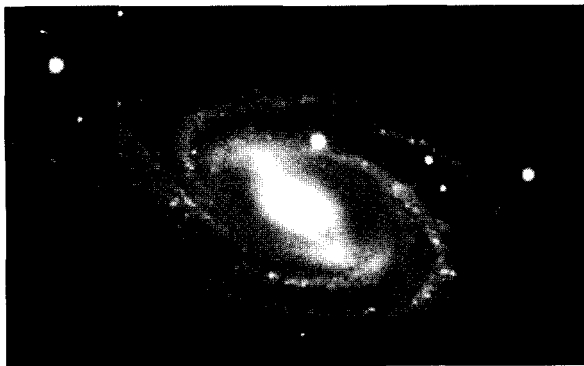


Рис. 5.5. Спиральная галактика M109 (NGC 3992), из многих сотен близких спиральных галактик наиболее похожая на наш Млечный Путь (по мнению автора).

Такая конфигурация рукавов соответствует углу их закручивания около 12° , и она совместима с предположением, что наблюдаемый в оптическом диапазоне рукав Лебедя—Ориона с углом закручивания примерно в 20° является лишь шпуром, отрогом рукава Стрельца. С этим согласуется вывод о том, что в этом рукаве нет концентрации более старых объектов, которая бесспорно имеется в рукаве Киль—Стрелец. Яркие молодые объекты остаются лучшими трассерами спиральных рукавов, но в волновых спиральных рукавах, областях повышенного гравитационного потенциала, должны быть и более старые скопления, и цефеиды — и это действительно наблюдается.

Накапливается все больше аргументов в пользу предположения, что наша Галактика имеет небольшой бар, перемычку, проходящую через центр и соединяющую начальные точки каждой пары рукавов. Концы его находятся на расстояниях 3–4 кпк от цен-

тра Галактики, и от них, возможно, и отходят спиральные рукава. Возможно существование и кольца диаметром, равным размеру бара, — подобные галактики действительно наблюдаются (рис. 5.5). По мнению ав-

Накапливается все больше аргументов в пользу предположения, что наша Галактика имеет небольшой бар, перемычку, проходящую через центр и соединяющую начальные точки каждой пары рукавов.

тора, наша Галактика гораздо больше похожа на М109, чем на М31. Изображение М109, однако, показывает, что реальная картина всегда сложнее схемы; в частности, вторая пара спиральных рукавов и в других галактиках почти всегда слабее, а регулярное

распределение звездно-газовых комплексов (сверхоблаков III) чаще наблюдается лишь в одном из рукавов.

Не исключено, что построить достоверную карту нашей Галактики мы сможем, лишь когда вступим в контакт с астрономами туманности Андромеды. А пока нам остается полагаться на то, что наше обиталище во Вселенной не обладает никакими уникальными свойствами, и если мы твердо установили хоть какие-то характеристики нашей звездной системы, то галактики, также их имеющие, вполне могут быть похожи на нашу. Известным аргументом против этой рабочей гипотезы является как раз отсутствие контактов не только с туманностью Андромеды, но и какими-либо вообще внесемными цивилизациями. Тому находят свыше 20 причин, но проблема постепенно вырастает в величайшую загадку современного естествознания...

Ядро Галактики

Величайшая загадка Галактики — ее ядро. Еще не так давно мы не знали о нем ровно ничего. Данные оптической астрономии указывали положение центра Галактики с ошибкой около $1,5^\circ$, и ничем особенным эта область созвездия Стрельца не выделялась. В туманности Андромеды ядро выглядит как гигантское шаровое скопление — ярче любого другого скопления на 3 звездные величины; диаметр его около 10 пк. В нашей Галактике ситуация оказалась иной.

В конце 1950-х гг. в направлении галактического центра был обнаружен источник радиоизлучения, получивший название Стрелец А, и были основания полагать, что он находится в самом ядре. Его положение было определено с точностью до $0,1^\circ$, и Вальтер Бааде начал отчаянные попытки обнаружения ядра в оптическом диапазоне. Он снимал область Стрельца А на пластинках, чувствительных к красным лучам, на 48-дюймовой камере Шмидта (экспозиции доходили до 7 часов), и затем на 200-дюймовом рефлекторе, однако обнаружил лишь несколько шаровых скоплений, невидимых на синих и желтых пластинках из-за сильного поглощения света. «У меня нет сомнений в том, что поглощение перед самым ядром порядка 9 или 10 величин, и я убежден, что с нашими современными средствами мы ничего сделать не сможем», — говорил Бааде в 1958 г. Действительность оказалась еще хуже: 10 лет спустя Беклин и Нейгебауер

обнаружили в направлении Стрельца А на длине волны 2,2 мкм точечный источник инфракрасного излучения, и оказалось, что в видимых лучах поглощение света между нами и центром составляет около 27 величин!

Западный компонент радиоисточника Стрелец А, Sgr A*, и является самой сердцевиной Галактики. Это компактный источник нетеплового радиоизлучения и инфракрасного излучения. Восточный его компонент является просто молодым остатком сверхновой. В пределах 100 пк от центра обнаружено множество признаков продолжающегося образования массивных звезд: остатки сверхновых, источники инфракрасного излучения, которые могут быть звездами высокой светимости, окруженными пылевыми оболочками,

Получены убедительные свидетельства того, что в самом центре Галактики находится сверхмассивная (около 3 миллионов солнечных масс) черная дыра.

гигантские молекулярные облака и несколько очень молодых и богатых звездных скоплений, видимых только в ИК-лучах. В центральном парсеке найдено три десятка молодых звезд-сверхгигантов,

но огромного звездного скопления, подобного имеющемуся в М31, в центре нашей Галактики нет. Зато не обнаружено радиоизлучения от ядра галактики Андромеды.

К 2003 г. получены убедительные свидетельства того, что в самом центре Галактики находится сверхмассивная (около 3 миллионов солнечных масс) черная дыра. Аргументы практически неопровержимы, и значение этого вывода невозможно переоценить. Измерения собственных движений 8 звезд высокой светимости, расположенных близ Sgr A*, показали, что

их траектории являются частями эллипсов, в фокусе которых находится этот объект, что и позволяет определить его массу по третьему закону Кеплера — она составляет около 3 млн. масс Солнца. Для одной из этих звезд удалось измерить период ее обращения: он оставляет лишь 15 лет. В 1999 г. другая звезда промчалась со скоростью 9 000 км/с на расстоянии всего лишь 60 а. е. от центрального объекта Галактики.

Через несколько лет совместное рассмотрение собственных движений и лучевых скоростей звезд, вращающихся вокруг центральной черной дыры, даст возможность определить расстояние до центра Галактики намного точнее, чем позволяют классические методы. Предварительные данные дают значение около 7,6 кпк, что с точностью до 0,5 кпк совпадает с величиной, определяемой классическими методами. Наблюдается также и рентгеновское излучение от центрального объекта, показывающее вспышки продолжительностью около 10 мин и дольше. Они объясняются аккрецией все новых порций газа на диск, окружающий черную дыру, который, следовательно, не может по размеру превышать 10 световых минут — чуть больше 1 а. е. Объект такой массы и размеров вряд ли может быть чем-либо иным, кроме как черной дырой — или чем-то не менее удивительным...

К динамическим центрам галактик неизбежно сваливается вещество, потерявшее вращательный момент (например, при столкновениях газовых облаков, частых при сближениях галактик), и что-то особое непременно должно там быть. Однако разнообразие характеристик ядер галактик очень велико. Часто наблюдается что-то вроде очень массивного звездного скопления с большой дисперсией возрастов звезд, как в М31 и М33, а еще чаще — газовые облака и при-



Рис. 6. Спиральная галактика 0313-192, видимая с ребра. Из ядра галактики, почти перпендикулярно ее плоскости, вырываются гигантские потоки заряженных частиц.

знаки бурного звездообразования, как в нашей Галактике.

Ряд галактик обладает «активными» ядрами — очень яркими, показывающими яркие эмиссионные линии и признаки истечения вещества в спектрах. В центрах трех сотен галактик почти доказано существование черных дыр с массами до 100 млн солнечных. Всевозможные признаки «активности» ядер галактик: огромная мощность их излучения, переменность блеска и спектральных линий — наверняка объясняются присутствием черных дыр и аккрецией вещества на окружающие их быстро вращающиеся газовые диски. Наиболее активные ядра намного ярче окружающих галактик; такие объекты известны как квазары.

От многих ядер на многие сотни килопарсек тянутся плазменные джеты (рис. 6), несущие огромную энергию (в конечном счете, это гравитационная энергия черных дыр, освобождающаяся в процессе аккреции). К счастью, ныне и в нашей Галактике и в туманности Андромеды центральные черные дыры ведут се-

бя относительно спокойно, и мощных выбросов из них нет. Вообще джеты от ядер спиральных галактик очень редки, более обычны видимые в радиодиапазоне джеты от квазаров и эллиптических галактик, обусловленные синхротронным излучением частиц, выброшенных из ядер с субрелятивистской скоростью; они тянутся иногда на многие сотни килопарсек.

Мир галактик бесконечно разнообразен. Нет большего удовольствия, чем рассматривать в Сети коллекции их изображений, особенно цветных. Спиральные галактики, вроде нашей, составляют меньшинство, но они, конечно, самые красивые и самые интересные. В спиральных рукавах пересекаются проблемы динамики и структуры галактик, образования и эволюции звезд и звездных группировок. Ядра галактик таят еще большие загадки.

В центрах трех сотен галактик почти доказано существование черных дыр с массами до 100 млн солнечных. Наиболее активные ядра намного ярче окружающих галактик; такие объекты известны как квазары.

Мы вплотную подошли к пониманию истории звездообразования в галактиках, но образование самих галактик еще неясно. Работы на эту тему можно сравнить с рассуждениями об источниках звездной энергии до открытия ядерных реакций – мы не знаем природы 96% вещества Вселенной. Но наука не может ждать, пока накопится больше данных, как не мог ждать Каптейн. Очередное приближение к истине может прийти только в процессе работы над тем, что уже есть в нашем распоряжении.

Научно-популярное издание

Ефремов Юрий Николаевич

Млечный путь

Подп. в печ. 05.12.2005. Формат 70×90/32. Усл. печ. л. 2,34.
Тираж 2 500 экз. Заказ № 2060.

ООО «Век 2», 141195, г. Фрязино-5, Моск. обл., а/я 107
Тел. (495) 785-56-39, доб. *15-14
e-mail: vek-2@mail.ru, www.vek2.nm.ru
Фрязино, пл. Введенского, 1, к. 102
Изд. лиц. ЛР № 070440 от 11.04.97

Отпечатано в ОАО «Можайский полиграфкомбинат»,
143200, г. Можайск, ул. Мира, 93.



9785850991562