

Наука
для всех

Ю. Н. Ефремов

Звездные острова



Наука
для всех



Издательство «Век 2»

Наука
для всех

Ю. Н. Ефремов

Звездные острова

Галактики звезд
и Вселенная галактик



Фрязино
2005

УДК 524
ББК 22.66
Е92

Ефремов Юрий Николаевич — профессор, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Отдела Галактики и переменных звезд Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга при МГУ.

Известный специалист в области изучения Галактики, переменных звезд, молодых звездных группировок и истории астрономии.

Член Международного Астрономического Союза и Совета по астрономии РАН, лауреат Ломоносовской премии МГУ.

Ефремов Ю. Н.

Звездные острова.

Фрязино: «Век 2», 2005. — 272 с. — (Наука для всех).

ISBN 5-85099-159-X

Книга рассказывает о нашей и других галактиках, о населяющих их звездах и звездных скоплениях, о методах, которыми было достигнуто наше знание. Обсуждаются проблемы внеземного разума и горизонта науки. Книга доступна всем, интересующимся устройством мироздания; для ее понимания не нужно знания математики.

На обложке: Космический телескоп им. Хаббла
и галактика М 51 «Водоворот» (NASA).

ПРЕДИСЛОВИЕ

Долгое время астрономы думали, что самая интересная эпоха в истории нашей науки уже позади. Еще в 20-х годах XX века стало окончательно ясно, что Вселенная населена галактиками и что она расширяется — человек, кажется, понял устройство мироздания. Однако достижения астрофизики последних лет, описанные в этой книге, говорят о том, что мы только подошли к краю неведомого. Оказалось, что мы не знаем еще, чем наполнена наша Вселенная, — звезды и газ вкладывают лишь около 4% в плотность энергии в ней. Мы, кажется, на пороге событий, не уступающих по своему значению — и грядущему воздействию на судьбы человечества — появлению квантовой механики и открытию ядерной энергии. Выясняется возможность существования множества вселенных, в каждой из которых свои физические законы.

Как гласит известное изречение, человек тем и отличается от животного, что иногда поднимает голову к небу. Среди первых вопросов, которые задают дети, обязательно вопросы и о Солнце, и о Луне, и о звездах. Особенно поражает их то, что светила неизменно следуют за нами при нашем движении; мелькают в окне поезда деревья и дома, а Солнце и Луна все бегут за нами на их фоне. Ведь они так далеко... От зарождения протонауки в Древней Греции и до XVI века, более двух тысячелетий, считалось, что Солнце, Луна и яркие передвигающиеся звезды — планеты, суть светила, вращающиеся вокруг

Земли на фоне самой далекой сферы неподвижных звезд. Природа всех этих светил, в сущности, не подлежала обсуждению.

С победой коперниковской системы мира возникли подозрения, что Солнце, вокруг которого вращается с периодом в один год наша планета Земля — лишь одна из множества звезд. Галилей первым понял, что из-за движения Земли положение звезд на небе должно изменяться с периодом в один год и тем заметнее, чем ближе к нам звезда. Задача определения величины этого смещения, определяющего расстояние звезды, была решена лишь два века спустя, — звезды оказались очень далеко, даже ближайšie из них в сотни тысяч и миллионы раз дальше Солнца. Сравнивая расстояния и видимый блеск звезд, астрономы установили, что звезды излучают примерно столько же энергии, как и наше Солнце. Встала задача объяснить источники энергии звезд и изучить их положение в пространстве.

Книга рассказывает о том, как были решены эти задачи, как люди узнали о том, что живут на окраине огромной звездной системы, одной из множества таких систем-галактик, островов в океане Вселенной.

Расстояние до центра нашей Галактики свет проходит за 24 тысячи лет. Эта система имеет форму двояковыпуклой линзы, а наше Солнце находится близ ее экватора и далеко от центра, так что при взгляде вдоль нее мириады далеких звезд сливаются в сияние Млечного Пути. Крошечные туманные пятнышки, многие тысячи которых были обнаружены в начале прошлого века, также оказались гигантскими системами звезд, расположенными на расстояниях в миллионы и миллиарды световых лет. Мы старались изложить возможно более понятно, но исторически точно, какими путями было достигнуто это знание.

Кажущаяся чудом способность человека охватить своим разумом сущности, бесконечно далекие от воспринимаемых им непосредственно объектов, подтверждается практикой, — например, мы давно уже воспроизводим почти те же ядерные реакции, которые служат источником свечения звезд.

Прогресс науки, на котором основана вся технология, обеспечивающая ныне существование нашей цивилизации, можно остановить, только упразднив ее. Невежды и мракобесы всех сортов, ныне набирающие силу в России, однажды уже сумели погубить нарождавшуюся науку античности.

* * *

Книга доступна всем, интересующимся устройством мироздания, и для понимания ее не нужно знания математики. Впрочем, для тех, кто не успел пасть жертвой «реформы» образования, в примечаниях приводятся три ключевые формулы (с логарифмами...), на которых основано наше знание о расстояниях звезд и галактик, т.е. план Вселенной.

Выбор тематики и крен в сторону космографии определялся интересами и знаниями автора — эта книга не учебник; незатронутые в ней проблемы излагаются из первых рук в других научно-популярных книгах, издание которых возобновилось в нашей стране, хотя и с тиражами на два порядка меньшими, чем при историческом материализме... Писать популярные книги необходимо. Как знать, может быть даже эта малость в критическую эпоху способна повлиять на судьбу науки в нашей стране — и, значит, на судьбу самой России...

Юрий Ефремов
Москва, ГАИШ МГУ, Май 2005.

ВВЕДЕНИЕ

Интеллектуальные орудия, без которых было бы невозможно развитие современной техники, пришли в основном от наблюдений звезд.

Альберт Эйнштейн

Предвидимое будущее?

Истекший XX век навсегда останется выделенным особо в истории астрономии. Открыть Вселенную можно только один раз и только единожды можно понять источники энергии звезд. Астрономы вступили в XX век с представлениями о единственной всеобъемлющей звездной системе Млечного пути, но уже в тридцатые годы мы оказались в расширяющейся Вселенной, наполненной мириадами систем, подобных нашей Галактике. К концу века теория пришла к выводу о возможности существования множества вселенных, совсем непохожих на нашу, а в самом начале XXI века астрономические наблюдения обнаружили, что современная физика еще не знает природы 96% вещества нашей Вселенной.

Открытие Вселенной галактик — а не звезд — было одновременно и открытием существования нашей собственной Галактики. Это была настоящая революция в астрономии. Менее чем за десять 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.

Главный вопрос, волнующий нас при обращении к прошлому, состоит в том, может ли исследование путей познания утвердить нас в достоверности нынешних представлений о

Вселенной. Кто владеет прошлым, может предсказать будущее. Обычно считается, что уже с конца XVIII века ученым людям каждого поколения было свойственно думать, что основы мироздания уже постигнуты, что остается лишь уточнить детали. Закон всемирного тяготения превосходно описывал движения планет и двойных звезд, и до начала XX века казалось, что законов ньютоновской механики достаточно для описания мироздания. Это мнение приписывается обычно П. С. Лапласу, однако по существу он говорил лишь о перспективе объять «в одной формуле движение величайших тел Вселенной наравне с движением легчайших атомов», что остается в известном смысле задачей и современного естествознания.

Успехи астрономии будущего, по словам Лапласа («Изложение системы мира», Ленинград, Наука, 1982, с. 317), зависели от трех условий: измерения времени, измерения углов и от совершенства оптических инструментов; причем «первые два в настоящее время не оставляют желать почти ничего лучшего». Ныне, два века спустя, устарело лишь первое условие — измерение времени перешло в ведение физики атома и достигло предела точности, определяемого законами квантовой механики. В измерениях углов после почти двухвекового застоя применение интерференционных методов и выход в космос привели к радикальному прогрессу, пределов которому не видно. Совершенствование оптических инструментов, на которое Лаплас возлагал особые надежды (поскольку измерения времени и углов уже достигли, как он думал, предельного совершенства...) также ничем не ограничено. Количество гигантских наземных телескопов с зеркалами, превышающими пять метров в диаметре, скоро достигнет двух десятков; разрабатывается проект 100-метрового телескопа.

Лаплас не мог даже и подозревать о возможности наблюдений в других диапазонах электромагнитного спектра, помимо оптического. Тем более не мог он помыслить о делающей ныне первые шаги нейтринной астрономии или о приемниках гравитационного излучения, которые должны заработать через пару лет.

Польза астрономии

Зарождение и развитие астрономии, как и других наук, было вызвано жизненными потребностями человечества. Астрономия — ровесница неолитической революции, превратившей наших предков из бродячих орд собирателей и охотников в земледельцев, которым жизненно необходимо предвидеть смену времен года. Наблюдения за небесными светилами позволили создать календарь. Потребности мореплавания стимулировали развитие астрономии в эпоху Возрождения — а еще раньше на островах Полинезии: первые европейцы, проникшие в Тихий океан в XVI веке, с удивлением обнаружили значительные познания туземцев в мореходной астрономии. Для объяснения наблюдений звезд и планет была создана классическая механика, до конца XIX остававшаяся единственной основой технических достижений человечества.

Но зачем нужна астрономия в наше время? Когда-то авторы научно-популярных книг отвечали на этот вопрос, указывая прежде всего на необходимость наблюдения звезд для определения точного времени, для навигации и картографии.

Но уже полвека молекулярные часы хранят время в тысячи раз точнее, чем вращение Земли, скорость которого фиксируется по звездам. После появления этих часов астрономические Службы времени стали заниматься не определением поправки часов (для чего фиксировались моменты прохождения звезд через небесный меридиан), а изучением неравномерности вращения нашей планеты. Теперь же эту задачу решают синхронные интерферометрические наблюдения на радиотелескопах, расположенных на разных континентах. Точно так же навигационные и геодезические спутники давно уже позволяют определять координаты наземной поверхности с точностью, не достижимой астрономическими методами.

Но у астрономии появились другие приложения. Лет тридцать назад внезапной популярностью стала пользоваться ярчайшая звезда южного созвездия Киль — Канопус. Автор участвовал тогда в работе над составлением Общего каталога

переменных звезд, и в нашей комнате хранилась картотека, содержащая сведения о многих тысячах звезд. И долгое время почти каждый месяц у нас появлялись незнакомые серьезные люди с вопросом об одной и той же звезде. Стало понятно, что уж в этой-то области в нашей стране не только конкуренция, но и полная секретность... Канопус — вторая по яркости (после Сириуса) звезда нашего неба и расположена она близ полюса эклиптики, так что угол между направлениями на нее и на Солнце всегда близок к 90° , и поэтому ее удобно использовать для ориентации космических аппаратов любого назначения. Сведения о координатах и блеске в разных диапазонах длин волн для Канописа, а затем и для тысяч других звезд стали использоваться людьми, очень далекими от астрономии...

Астрономические методы и инструменты используются для определения координат и отождествления искусственных спутников Земли и межпланетных станций, для всевозможных исследований нашей планеты и деятельности на ней человека — на многих спутниках установлены телескопы, направленные вниз...

В некотором смысле вполне практическим приложением астрономии можно назвать и поиски астероидов на предмет заблаговременного выявления тех из них, которые могут столкнуться с Землей — в надежде изменить их орбиты.

Физика и астрономия

Но конечно, не эти полезные занятия вдохновляют астрономов. Как и всех естествоиспытателей, их ведет стремление к исследованию мироздания, внутренняя логика развития науки. Практические приложения являются побочным результатом фундаментальной науки — но на них ныне основана вся земная технологическая цивилизация, медицина и сельское хозяйство; каждый шаг городского жителя обусловлен далекими последствиями бескорыстного любопытства ученых.

Можно вспомнить, например, что термоядерные реакции появились впервые именно в теоретической астрофизике как

возможный источник энергии звезд. Когда Артур Эддингтон в двадцатых годах нашего века говорил о том, что слияние четырех протонов в альфа-частицу — превращение водорода в гелий — вполне возможно в недрах звезд и способно дать необходимую энергию, большинство физиков считало, что в звездах для этого слишком холодно.

В 1952 г., после взрыва первой водородной бомбы, в осуществимости такого рода реакции никто уже не сомневался. Еще пример — магнитная газодинамика, наука, родившаяся при изучении свойств газовых туманностей и строения Галактики, служит ныне при проектировании генераторов электроэнергии и плазменных ловушек, в которых управляемая термоядерная реакция будет когда-нибудь получена и на Земле.

Со времен Галилея и Ньютона и до конца XIX века астрономия была фактически лидером естествознания, ибо основные физические принципы и математические методы развивались именно при астрономических исследованиях. Затем астрономия все чаще стала использовать результаты физической теории и заимствовать у физики и методы исследования. Грандиозные перемены, начавшиеся в физике в конце XIX века, оттеснили астрономию на задний план, и получила распространение точка зрения, что астрономия призвана лишь поставлять сведения для проверки физических теорий.

Ситуация изменилась в последние годы. «Будущее принадлежит астрофизике» — эти прозорливые слова академика Л.А.Арцимовича, сказанные в 1972 г., тогда оспаривали его коллеги-физики. Но теперь уже всем становится ясным, что дальнейший прогресс естествознания возможен лишь если иметь дело с материей, находящейся в экстремальных условиях, которые мы не находим на Земле и никогда не сможем воспроизвести. Это не только сведения о поведении вещества при сверхвысоких плотностях и температурах, при сверхсильных гравитационных и магнитных полях, которые может дать только астрономия.

Астрономы сталкиваются с явлениями, для которых на Земле не хватает ни места, ни времени. Это уже было однажды

продемонстрировано теорией относительности в соединении с наблюдательными данными о расширении Вселенной. Ныне выясняется, что непосредственно наблюдаемое в звездах и газовых туманностях вещество составляет не более 4% полной массы Вселенной, что около 26% вещества (неизвестно, какого!) мы чувствуем лишь по создаваемому им тяготению, и что 70% массы Вселенной обусловлено новым физическим фактором — скорее всего, плотностью энергии вакуума. Это вытекает из астрономических наблюдений, о которых будет говорить в книге. Они открывают дорогу действительно новой физике. Более того, данные астрономии привели современную космологию к теории о том, что наша Вселенная лишь одна из бесчисленных вселенных, возникающих и расширяющихся из вечного физического вакуума.

Добавим к этому, что уже существует теория, объясняющая, как можно создать вселенную в лаборатории, и вполне закономерен вопрос о том, не появилась ли таким образом и наша Вселенная. Это, конечно, новая революция в мировоззрении, и это вновь заслуга астрономии. Но революций в науке не бывает, новая теория включает старую как предельный случай; горизонт все отодвигается по мере продвижения вперед, а пройденная территория — наша...

* * *

«Астрономия — счастливая наука, — сказал Араго, — она не нуждается в украшениях». Но великолепны не только небесные объекты, изучаемые нашей наукой; прекрасна и она сама.

Астрономия необъятна, как необъятна изучаемая ею Вселенная; все способы исследования, все подходы и приемы, существующие в естественных науках, находят свое применение в той или иной отрасли астрономии. В этой универсальности с нашей наукой не может поспорить никакая другая. В ней находят свое место и высшие абстракции математики, и тонкость физического эксперимента, и вдумчивое сопоставление и анализ данных, и, наконец, просто их накопление и классификация.

Вместе с тем, это наука об эволюционирующем мире, и в этом отношении астрономия похожа на палеонтологию или историческую геологию. В физике результаты старых опытов сохраняют лишь историческое значение, в астрономии же ценность старых наблюдений растет с каждым годом. Жизнь поколения — лишь краткий миг в истории звезд. Вся история человечества от австралопитеков — сотая доля одного оборота Солнца вокруг центра Галактики, десятитысячная доля жизни его как звезды. Сколь велика смелость людей, говорящих, — и с основанием, — что мы понимаем теперь эволюцию звезд; много ли найдется в истории науки более гордых утверждений! Но вспомним, однако, последние слова Лапласа — «то, что мы знаем, столь ничтожно сравнительно с тем, чего мы еще не узнали»...

Глава 1. ЗВЕЗДНОЕ НЕБО

О, пыль миров! О рой священных пчел!
Я исследил, измерил, взвесил, счел,
Дал имена, составил карты, сметы...

Максимилиан Волошин

Августовская ночь

Нет ничего прекраснее сияния звездных огней — вдали от города и от деревенских фонарей, в хорошую ночь около 3000 звезд можно увидеть простым глазом, а с биноклем около 20—30 тысяч. Сенека сказал, что если бы звезды были видны только из одного места Земли, туда бы стекалось больше паломников, чем куда-либо еще. Лучшие ночи — уже достаточно темные и еще теплые — бывают у нас в начале августа. Они хороши еще и тем, что 12 августа — максимум метеорного потока Персеид, и тогда каждые несколько минут небо очерчивает короткой фосфорической линией сгорающий в атмосфере камушек.

Три яркие звезды Летнего треугольника доминируют на небосклоне: это Вега (α созвездия Лиры), Денеб (α Лебеда) и Альтаир (α Орла). Через все небо, от Кассиопеи на севере через Лебедь к Стрельцу тянется светлая полоса Млечного Пути.

Ярче всего она кажется в созвездии Лебеда, которое в августовскую полночь находится прямо над головой. Наведя туда бинокль, можно увидеть зрелище, которое и не снилось древним — сияние Млечного Пути распадается на тысячи звезд. (В южных широтах можно увидеть еще более яркие облака Млечного Пути в Щите и Стрельце, но у нас они низко над горизонтом, а поглощение в атмосфере ослабляет свет звезд, и делает красными Луну и Солнце близ горизонта).

Первым любовался этой картиной Галилей в 1610 году — он сделал подзорную трубу и навел ее на небо. С той поры более трех веков продолжались споры о том, есть или нет хоть что-нибудь во Вселенной дальше звездных облаков Млечного пути. Между тем в августовскую полночь на востоке уже видно созвездие Андромеды, среди звезд которого можно заметить туманное пятнышко. Фотографии, полученные на больших телескопах в начале XX века, позволили разглядеть, что туманность Андромеды также разрешается на звезды. Она оказалась ближайшей большой галактикой, гигантской звездной системой, большей даже, чем наша система Млечного Пути, но отстоящей от нас на расстояние, в двадцать раз превышающее его размеры. Простым глазом можно увидеть объект, свет от которого идет два миллиона лет!

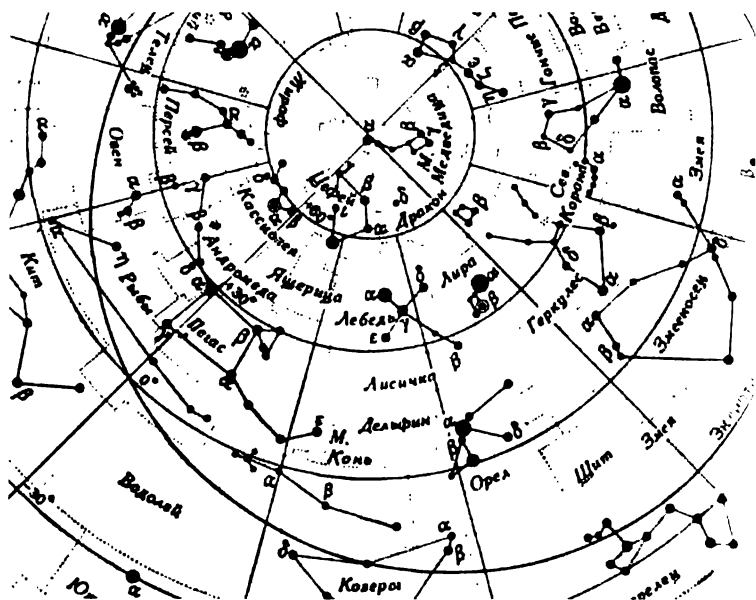


Рис. 1.1. Карта участка неба, видимого летом с заката до восхода в средних широтах. Наблюдатель должен смотреть на юг, тогда слева (sic) восток, справа запад; объекты близ середины карты в начале августа в полночь видны близ зенита.



Рис. 1.2. Млечный Путь от Кассиопеи до Лебеда. Яркая звезда справа — Денеб, туманность Андромеды видна слева (см. карту на рис. 1.1). Если источник не указан, изображения небесных объектов взяты с сайта www.sai.msu.su/apod/.

Вид галактик в бинокль и даже в телескоп разочаровывает — они остаются туманными пятнами. Но звездные скопления сияют как шкатулки с драгоценностями (одно из них так и называют). Впрочем, в нескольких близких скоплениях отдельные составляющие их звезды видны простым глазом. Это крошечный ковшик Плеяд, восходящий в августе под утро, и, в том же созвездии Тельца, звезды Гиад, окружающие ярчайшую звезду созвездия, оранжевый Альдебаран. Он, скорее всего, тоже является членом скопления. Многие более яркие звезды созвездий Волосы Вероники и Ориона также находятся близко друг к другу, прочие же созвездия лишь вырезают из небесной сферы участки причудливой конфигурации, доставшиеся нам от астрономов античности.

Имена звезд

Яркие звезды несут свои имена уже около 20 веков, а некоторые и существенно дольше. Подобно титулованной знати, у каждой из них много имен — и персональное, и в созвездии,

и в десятке-другом звездных каталогах, хотя это уже просто номера. Так, Сириус — это α Большого Пса, 9 Большого Пса, BS 2491, HD 48915, Hip 32349, CSV 17173... Самые же слабые по яркости звезды отождествляются просто по своим координатам и блеску. В каталоге USNO B1.0 содержатся эти параметры для 1045913669 звездообразных объектов до 21-й звездной величины (среди самых слабых уже больше очень далеких галактик, чем звезд нашей Галактики).

Однако собственные имена, а не просто номера в каталогах, имеют всего лишь 275 звезд. Подавляющее большинство из них арабского происхождения и, как правило, они происходят от положения звезды в фигуре созвездия.



Рис. 1.3а. Фигуры созвездий на гравюре Дюрера.
Южное небо.

Первое из дошедших до нас описаний созвездий дано в поэме Арата «Феномены», созданной около 275 г. до н. э. Этот греческий поэт опирался на труды Евдокса, который в IV веке до н. э. перенес в Грецию древнеегипетские знания о звездном небе. Несколько созвездий (среди них Орион и Большая Медведица) упоминает еще Гомер в «Одиссее».

По перечню 48 созвездий, содержащихся в поэме Арата, можно определить время, и даже место, где она создавалась. Положения созвездий на небесной сфере не охватывают зону с радиусом около 36° вокруг Южного полюса неба. Тем самым указывается примерная широта места: из-за горизонта не поднимаются звезды со склонением в -54° и более южным,



Рис. 1.36. Фигуры созвездий на гравюре Дюрера. Северное небо.

если широта равна 36° . В центре этой свободной от созвездий зоны должен находиться Южный полюс, и, учитывая прецессию, можно определить время наблюдений — примерно X век до н. э. Время и широта указывают на Вавилонию и шумеров, как создателей списка созвездий Арата. Это не противоречит прямым историческим свидетельствам, хотя они говорят, что вавилонские созвездия не были строго идентичны описываемым Аратом.

Для шести звезд Арат указывает собственные имена: Сириус, Арктур, Капелла, Процион, Спика и Винденмиатрикс (что по-русски означает Виноделательница). Это в современном обозначении Гамма Девы, звезда третьей величины.

Кажется удивительным, что при этом остались без названия многие десятки более ярких звезд, в том числе и первой величины. Однако это можно рассматривать как косвенное указание на время и место зарождения астрономии: γ Девы — самая северная звезда созвездия и появление ее на утреннем небе перед восходом Солнца означало наступление сезона сбора винограда.

Напомним, что древним с их путаными и часто корректировавшимися календарями было необходимо независимо от колебаний погоды предвидеть наступление того или иного сезона, и положение звезд на небе было единственным индикатором сезона. Так и Сириус, α Большого Пса (римляне называли его Каникулой, Собачкой), который впервые за год появляется на утреннем небе перед восходом Солнца в разгар лета, дал название предстоящему жаркому сезону, в который работы прерывались и начинались каникулы. (Конечно, это Солнце отходит от Сириуса на небосклоне достаточно далеко к востоку именно в этот сезон, что, конечно же, обусловлено годичным вращением Земли вокруг Солнца...)

Звездный каталог «Альмагеста»

Древнейший известный нам звездный каталог включен в VII и VIII книги знаменитого творения Клавдия Птолемея, жившего во втором веке н.э. Оно известно уже много веков под названием «Альмагест» — так арабы перевели греческое название «Мегале синтаксис» («Великое построение»). В ночи Средневековья древние знания были утеряны в Европе, но к счастью сохранились на Востоке; в конце XII века «Альмагест» стал известен и в Европе, первоначально в переводах с арабского. При владычестве арабов в Испании Толедо и Кордоба были крупнейшими центрами культуры. Отсюда и арабские имена звезд.

Звучные таинственные названия, которые фантасты любят использовать как имена звездолетов, означают сугубо прозаические предметы. Хорошо, если это Плечо гиганта (Бетельгейзе в Орионе). Но есть и Брюхо (Мерак) — β Большой Медведицы, Начало хвоста (Мегрец) — δ Большой Медведицы и т.д. Из 275 звезд, имеющих собственные имена, 80% носят названия, обозначающие всего-навсего их положение в созвездии на арабском языке. Правда, несколько звезд сохранили и арабские названия другого рода, приведенные ас-Суфи. Так, β Водолея носит имя Садалсууд, что означает «счастье счастливых» — пребывание Луны в Водолее считалось особо благоприятным...

«Альмагест» содержит основные знания античного мира по астрономии. В каталоге 1028 объектов. Три из них — звездные скопления (γ Персея, ω Кентавра) и три звезды встречаются дважды, так как входят в состав каждого из двух граничащих между собой скоплений. Используя данные каталога, Птолемей построил систему небесных координат, которая позволила ему определять положения планет. В книгах IX, X и XI «Альмагеста» дана теория движения планет по деферентам и эпициклам вокруг Земли — знаменитая «система Мира» Птолемея.

Звездное небо в каталоге Птолемея также поделено на 48 созвездий, все из которых «дожили» до нашего времени, хотя

гигантское созвездие Корабль аргонавтов в наше время разделяется на Киль, Корму, Компас и Паруса. Птолемей, несомненно, следовал древней традиции и специально оговаривал случаи, когда он ее нарушал ради более точного, как ему представлялось, описания соответствующей фигуры созвездия. Звезды отождествлялись по их местам в этих фигурах и, конечно, по координатам. Привычные для нас греческие буквы и цифры появились гораздо позднее.

На протяжении тринадцати веков после Птолемея не было составлено ни одного звездного каталога, основанного на оригинальных наблюдениях. Шел век за веком, свыше дюжины каталогов (преимущественно арабских) появилось на свет, но все они использовали координаты каталога «Альмагеста» с соответствующим пересчетом долгот из-за прецессии*; таков был и каталог самого Коперника (эпоха 1520 г.).

Это тем более удивительно, что уже в IX веке астрономия на арабском Востоке превзошла достижения Птолемея; были определены координаты небольшого количества звезд и обнаружена ошибка в принятом значении прецессии. Точнее говоря, получив величину прецессии в 1 градус за 70 лет (а не за 100), расхажившая с результатом Птолемея, арабские астрономы не посмели подумать, что он ошибся; было введено понятие «трепидации», из-за которой постоянная прецессии якобы изменяется с периодом в 4 тыс. лет. О ней рассуждал и Коперник. Но ведь и сам Птолемей больше верил Гиппарху, чем себе — в каталоге «Альмагеста», как доказали А. К. Дамбис и Ю. Н. Ефремов, он привел координаты звезд, найденные Гиппархом (работавшим во втором веке до н. э.), хотя, несомненно, имел и свои определения.

Для определения координат звезд Птолемей использовал армиллу, прибор из нескольких вложенных друг в друга кругов, один из которых совмещался с эклиптической, а визирь на других кругах наводился на звезды. С помощью этого инструмента Птолемей, как он пишет, «наблюдал так много звезд, сколько мог видеть до шестой величины». Несмотря на эти его слова, около двух веков продолжался спор о том, определял ли коор-

динаты звезд в каталоге «Альмагеста» сам Птолемей, или он взял их у Гиппарха и лишь исправил долготы за прецессию.

Напомним, что широты и долготы звезд аналогичны земным координатам. Они отсчитываются от точки весеннего равноденствия — точки пересечения эклиптики (большого круга небесной сферы, по которому движется Солнце) с небесным экватором (проекцией земного экватора на небесную сферу), — в которой Солнце находится, переходя из Южного полушария неба в Северное. От этой же точки отсчитываются прямые восхождения звезд в экваториальной системе координат, где аналогом широты служат склонения, угловые расстояния звезд от небесного экватора. Полюс Мира, точка пересечения земной оси с небесной сферой, описывает на последней окружность вокруг полюса эклиптики с радиусом 23 градуса и периодом в 26 000 лет (см. «Справочник любителя астрономии», П. Г. Куликовский, М., УРСС, 2002, 5-ое издание).

Это движение земной оси, прецессия, возникает благодаря несферической форме Земли и воздействию притяжения Луны и Солнца. Вследствие прецессии точка весеннего равноденствия движется по эклиптике навстречу видимому годичному движению Солнца, так что долготы звезд возрастают на 1° за 72 года. Изменяются также и обе экваториальные координаты, и лишь широты звезд остаются (почти) неизменными.

Если по современным координатам и постоянной прецессии вычислить эпоху наблюдения каталога Птолемея, получится не 137 г., а 62 г. Это несоответствие было замечено еще ас-Суфи (903–988), который без каких-либо комментариев пишет, что звезды каталога наблюдал Менелай, живший во второй половине I века н.э. В конце XVIII века возобладала точка зрения, высказанная еще Тихо Браге: Птолемей взял координаты Гиппарха и перевел их на эпоху 137 г. с ошибочным значением прецессии (1° за 100 лет), восходящим тоже к Гиппарху. Поэтому поправка долгот у него получилась равной $2^\circ 40'$, а истинное значение должно составлять $3^\circ 40'$. Ошибка долгот в 1° и приводит к тому, что вычисленная по ним эпоха каталога — 62 г.

Однако двести лет назад за Птолемея вступился Лаплас: он заметил, что ошибка в 1° вполне могла возникнуть из-за такой же ошибки в теоретической долготе Солнца и вовсе не доказывает, что Птолемей приписал себе наблюдения Гиппарха.

В единственном подробно описанном в «Альмагесте» примере определения координат звезд (для Регула) фигурирует действительно теоретическая долгота Солнца (которая через Луну служила нуль-пунктом долгот) и была меньше истинной примерно на $1,1^\circ$ (из-за неточной у Птолемея продолжительности года). Остается, однако, неясным, как Птолемей мог оставить без внимания такое большое расхождение долгот Солнца.

Проблема в течение веков оставалась нерешенной. Наблюдать сам Птолемей бесспорно умел. В «Альмагесте» содержится список склонений 18 звезд, наблюдавшихся астрономами древности, в том числе и самим Птолемеем. Их можно независимо датировать по прецессии, и результаты подтверждают известные из истории даты жизни Тимохариса, Аристилла, Гиппарха и самого Птолемея, для наблюдений которого получается эпоха 130 г. н. э.

Независимый от долгот и прецессии метод датировки каталога был предложен в 1982 г. покойным Ю. А. Завенягиным, московским физиком и любителем астрономии. Он предложил использовать собственные движения звезд, очень медленные перемещения по небесной сфере, отражающие их пространственные скорости и расстояния (а для близких звезд — также и движение Солнца в пространстве). Из современных координат и собственных движений звезд можно рассчитать их координаты на любую эпоху и найти время, когда они будут максимально близки к приводимым в исследуемом каталоге.

Такая работа началась в ГАИШе, — с помощью ЭВМ, которая занимала две комнаты, Ю. Н. Ефремов и Е. Д. Павловская получили в 1985 г. эпоху, близкую к Гиппарху. А к концу века А. К. Дамбисом и Ю. Н. Ефремовым была найдена эпоха от -80 до -150 года по широтам и от -90 до -120 года по комбинации широт и долгот (с помощью компьютера, стоящего на столе),

что еще лучше согласуется со временем жизни Гиппарха. Мы основывались на изменении положения быстрых звезд относительно их соседей, что исключает систематические ошибки координат, данных в «Альмагесте»; они велики, но практически одинаковы в небольших участках неба.

Авторство Птолемея исключается. Он лишь пересчитал на свою эпоху долготы, определенные во времена Гиппарха. Указанные в каталоге долготы соответствуют 62, а не 137 г., именно потому, что он перевел долготы Гиппарха на свою эпоху с неверным, заниженным значением скорости их изменения. Скорее всего, Птолемей действительно пронаблюдал сам все звезды каталога, но координаты — по крайней мере, для большинства из них — привел гиппарховские...

Звездные каталоги

Слепое преклонение перед авторитетами довлело над зарождавшейся наукой. Очевидно, это и было главной причиной того, что на арабском Востоке долго не было попыток самостоятельно создать систему звездных координат, хотя и инструменты, и навыки наблюдений — все позволяло сделать это. Так, «Каталог неподвижных звезд» ас-Суфи представляет собой каталог Птолемея, к долготам которого прибавлено $12^{\circ}42'$ для перевода на эпоху 964 г., однако, звездные величины и конфигурации созвездий оригинальные, приведены также многочисленные измерения взаимных расстояний звезд. Существовали и трактаты, описывающие инструменты, вроде птолемеевского, пригодные для измерения координат. Было изобретено устройство (типа нониуса), позволяющее точно отсчитывать доли делений координатных кругов. Однако звездный каталог, составленный по собственным наблюдениям, появился лишь в обсерватории Улугбека (1394–1449) близ Самарканда.

Точность каталога Улугбека примерно такая же, как у Птолемея, около 17 – $20'$. Его созвездия те же, что и у ас-Суфи, и очень близки к птолемеевским. В Европе каталог Улугбека

стал известен лишь в середине XVII в., а в 1673 г. он вошел в труд Яна Гевелия «*Prodromus Astronomie*», включивший и его собственный звездный атлас. Описания конфигурации звезд в созвездиях, которые Улугбек взял у ас-Суфи, были переведены на латынь, но для многих ярких звезд были оставлены на арабском языке.

Каталог Улугбека остался высшим достижением арабской астрономии. После него эстафета знаний о небе возвращается в Европу. Однако в знаменитом труде Коперника «Об обращении небесных сфер» помещен все тот же каталог Гиппарха—Птолемея, хотя начало отсчета долгот Коперник поместил не в точку весеннего равноденствия, а на звезду γ Овна, чтобы навсегда избавиться от проблемы учета прецессии... Но этот каталог не успел войти в употребление. Его сменил каталог Тихо де Браге и новая эпоха в измерениях положений звезд.

Тихо Браге (1546—1601) с детства отличала любовь к астрономии. В течение 20 лет он занимался определением экваториальных координат звезд и достиг точности в $1'-2'$ (одну—две минуты дуги), а для опорных звезд и еще лучшей. Он определил также и точное значение постоянной прецессии — 1 градус за 71,5 года, что не удалось и Копернику, который не смог расстаться с трепидацией, введенной, как уже говорилось, арабскими астрономами. Тихо нашел также и медленное изменение наклона эклиптики. Каталог Тихо включает координаты всего 1005 звезд для эпохи 1600 г. В полном виде он был опубликован в 1627 г. его учеником И. Кеплером. Именно точность наблюдений Тихо (который измерил и много положений планет), позволила Кеплеру обнаружить законы обращения планет вокруг Солнца.

Следующий звездный каталог составил Ян Гевелий (1611—1687). Реальная его точность такая же, как у Тихо, хотя Гевелий указывает и секунды. Упорный отказ применить телескоп для наведения на звезды подвел Гевелия. Правда, он все же включил в свой каталог результаты измерений положений 350 южных звезд, проведенных в 1676 г. Галлеем на острове Святой Елены с использованием оптического визира.

Заслуга создания первого телескопического звездного каталога принадлежит Джону Флемстиду (1646–1719). Его наблюдения начались с 1675 г. на Гринвичской обсерватории, первым директором которой он был назначен год спустя. Его каталог, содержащий более 3 тыс. звезд (эпоха 1690 г.), был опубликован в 1725 г. уже после смерти автора. Аберрация света и нутация земной оси еще не были известны, учитывалась лишь средняя рефракция. Но когда последующие исследователи (прежде всего Аргеландер) переработали наблюдения Флемстида, то оказалось, что ошибка его измерений составляла всего 6–10 секунд, т. е. в десятки раз меньше, чем у Гевелия.

Современная эпоха картографирования неба начинается с работ другого королевского астронома, Джеймса Бадделя (1693–1762), который собственно и заложил основы классической позиционной астрометрии. Он обнаружил нутацию и аберрацию, разработал метод учета рефракции, и когда Бессель, а затем Леверье переработали наблюдения Бадделя, оказалось, что их ошибка составляет всего лишь около 1".

Перепись всех звезд ярче 9-й величины осуществил немецкий астроном Ф. Аргеландер (1799–1875). Сначала, в 1852–1859 гг. он составил каталог для склонений, превышающих -2° . Точность координат здесь была не особенно высока, около $0,1'$. В настоящее время (вместе с продолжением до $\delta = -23^\circ$) эта работа называется «Боннским обозрением» (BD) и включает 457 857 звезд. В конце XIX в. аргентинские астрономы провели аналогичную работу для южных звезд (от $\delta = -22^\circ$). «Кордобское обозрение» (CoD) насчитывает 613 953 звезды. Номера BD и CoD — неперенные аксессуары звезд и поныне, наряду с номерами в спектральном каталоге Генри Дрепера (HD), включающем 352 082 звезды до 8-й величины (а иногда и слабее) и составленном усилиями Анни Кеннон в течение полувека работы.

Как мы уже говорили, в современном каталоге USNO B1.0, который составлен в Обсерватории Военно-Морского флота США на основе измерений пластинок, полученных с широкоугольными камерами Шмидта, содержится более миллиарда

звезд до примерно 21-й величины. Перепись звезд на этом завершена — уже в этом каталоге среди слабейших объектов больше далеких и/или компактных галактик, чем звезд нашей собственной Галактики — звездной системы Млечного Пути.

Древняя астрономия и хронология

Предложенный Ю. А. Завенягиным метод датировки звездных каталогов по собственным движениям звезд позволил также разоблачить бредовую «новую хронологию». Многовековая проблема датировки «Альмагеста» приобрела неожиданную остроту четверть века назад, когда математик А. Т. Фоменко пришел к выводу, что каталог «Альмагеста» надо датировать X веком нашей эры. Это послужило важнейшим обоснованием его вывода о том, что вся хронология неверна, и всю историю до XIII века надо переписать, чем он занимается, кажется, и поныне. Однако уже долготы не позволяют датировать каталог вне интервала от $-II$ до $+ II$ вв. Избежать этого вывода можно, лишь предположив, что во всех, дошедших до нас 33 рукописях «Альмагеста», долготы зачем-то изменены одинаковым образом и именно так, чтобы соответствовать 62 г., т. е. на $\sim 14^\circ$, если каталог наблюдался в X в. Однако почему же 62 год, если в тексте четко написано, что долготы приведены к началу царствования Антонина Пия, т. е. к июлю 137 г. по нашему летоисчислению?!

Вся система отсчета годов, используемая в «Альмагесте», неразрывно связана с датами древней истории; поэтому изменить его датировку абсолютно необходимо для фальсификаторов истории. Никакого объяснения значений долгот каталога, означающих его датировку около 62 г., А. Т. Фоменко не дает. Поскольку долготы сразу отменяют «новую хронологию», А. Т. Фоменко и его сообщник Г. В. Носовский закрывают на них глаза и заявляют, что при датировке каталога они принципиально основываются на данных, которые невозможно было перевычислить на античную эпоху измышленными ими средневековыми фальсификаторами истории.

Метод датировки каталога, использованный А. Т. Фоменко, состоит в прямом сравнении текущих широт звезд, изменяющихся со временем из-за собственного их движения, с приведенными в каталоге. Время их наибольшей близости и должно быть эпохой наблюдения звезд каталога. Однако ошибки координат в нем велики и, отбирая немногие звезды, можно получить какое угодно значение для времени их определения (эпохи каталога). Это и было проделано. После странных и даже внутренне противоречивых рассуждений Фоменко и Носовский оставляют для датировки каталога всего лишь 8 звезд, причем из них собственным движением, достаточно большим для того, чтобы заметно изменить широту за несколько сотен лет, обладает один лишь Арктур. Ошибка его широты в каталоге «Альмагеста» велика, и интерпретируя ее, как результат собственного движения, они и получают X век.

Можно предположить, что специфический отбор 8 звезд диктовался необходимостью оставить из быстрых звезд именно один лишь Арктур. Недавняя работа московского физика М. Л. Городецкого подтверждает это предположение. В этой работе исчерпывающим образом, шаг за шагом прослежены все этапы операции, приведшей к X веку. Показано, что игнорируются не только результаты многочисленных исследований текста «Альмагеста», но и элементарная логика, одни выводы противоречат другим. В частности, М. Л. Городецкий отмечает, что по некоторым критериям, по которым творцы «новой хронологии» отбирали якобы наиболее точно измеренные звезды, не проходит и сам Арктур. Нет ни малейших оснований полагать, что отобранные А. Т. Фоменко звезды измерены в каталоге «Альмагеста» наиболее точно. Подозрение, что сначала Фоменко и его сообщники нашли звезды, широты которых дают поздние даты, а затем придумали обоснования для исключения всех остальных, можно считать доказанным.

Объективные методы определения эпохи каталога «Альмагеста» по собственным движениям подтверждают его древность. Понятно, что корректный способ определения эпохи каталога по собственным движениям звезд состоит в

использовании звезд с наибольшими скоростями перемещения по небесной сфере. Повторяя в принципе методику А. Т. Фоменко, но, используя широты 14 самых быстрых звезд «Альмагеста», М. Л. Городецкий нашел эпоху от -110 до -280 лет. Это эпоха, близкая к Гиппарху, но время Птолемея еще в пределах ошибки. Она становится несколько меньше (до -220 лет), если взять все звезды каталога, а при другом учете ошибок получается от -130 до -180 лет. Этот результат близок к полученному ранее А. К. Дамбисом и Ю. Н. Ефремовым. Он важен для истории астрономии — большинство специалистов склонялось к авторству Птолемея — но для новой лже-хронологии это абсолютный конец. Античная датировка каталога «Альмагеста» недавно подтверждена и в двух работах американских ученых, также использовавших собственные движения звезд.

Категорически противоречат лже-хронологии и все другие астрономические данные. «Подтверждающие» ее другие результаты А. Т. Фоменко и его сообщников (даты соединений планет со звездами, затмений и т. д.) получены путем подтасовки исходных данных или являются прямым обманом. Это же относится и ко всем их «историческим» соображениям. Подробности можно узнать из сборника «Астрономия против «новой хронологии» (М., «Русская панорама», 2001, составитель М. Л. Городецкий) и из сборников «Антифоменковская мозаика» (то же издательство). Компания мошенников и/или параноиков, впрочем, продолжает издеваться над здравым смыслом и отечественной и мировой историей.

Парадоксальным образом древний научный трактат и ныне поднимает острые проблемы научной этики. Наиболее яростные критики Птолемея в течение веков обвиняют его в плагиате, а теперь академик Фоменко уличен в подтасовке исходных данных при попытке передатировать «Альмагест». И что же — он по-прежнему заседает в Академии Наук и воспитывает студентов МГУ...

Попытки новых геростратов переписать историю, однако, нравятся некоторым вроде бы культурным людям, например,

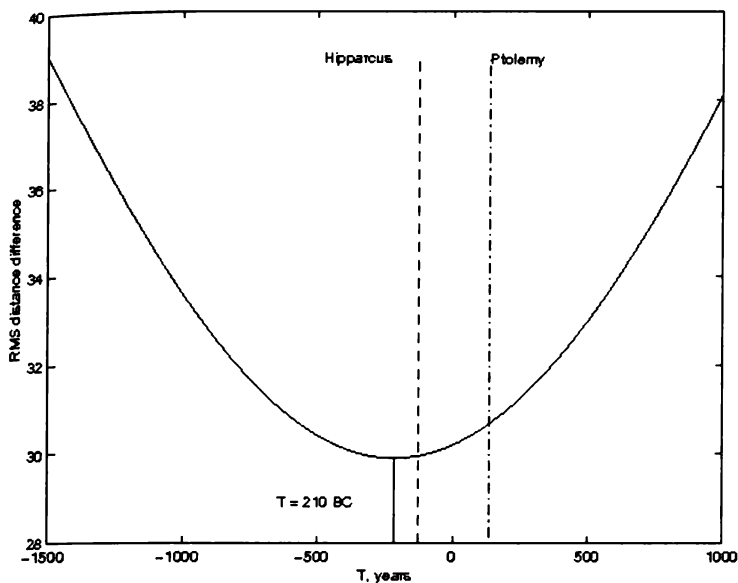


Рис. 1.5. Датировка каталога «Альмагеста» по изменению со временем взаимных расстояний 40 звезд неба с наибольшим собственным движением. Наилучшее согласование с расстояниями, вытекающими из координат в каталоге «Альмагеста» достигается близ эпохи Гиппарха. График построен А. К. Дамбисом.

Г. Каспарову и А.А. Зиновьеву. Они не понимают, что бессмысленна сама постановка вопроса о пересмотре хронологии. Прямой счет лет от античности никогда не был утерян. Это, во всяком случае, верно для событий позже 747 года до Р. Х. С этого времени — первого года эры Набонассара, начинается «Канон царей», который Клавдий Птолемей включил в свои «Подручные таблицы» как хронологическую базу для астрономических вычислений.

Датировка «Канона» проверена многочисленными астрономическими сведениями, содержащимися не только в «Альмагесте», но и в клинописных табличках, откопанных в Месопотамии спустя 25 веков после их создания. В годах эры Набонассара указаны и даты астрономических явлений,

описанных в «Альмагесте». В нем много упоминаний и исторических деятелей. Скалигер и Петавий, на которых акад. А. Т(рофимович?) Фоменко возлагает главную вину за «подделку хронологии», широко использовали в XVI—XVII веках астрономические явления, описанные Птолемеем, для приведения в единую систему исторических дат в разных календарных системах. «Создавать» хронологию им не было нужды, ибо счет лет со времен античности не был утерян!

Основа древней хронологии уходит корнями в Древний Рим, она опирается, прежде всего, на списки консулов, которые, как известно, сменялись каждый год. В поздней Римской империи счет лет шел от правления Диоклетиана, но года все еще обозначались и именами консулов (давно уже лишившихся реальной власти). Сохранились полные списки римских консулов за 1050 лет — от Брута и Коллатина. В консульство Проба Младшего римский аббат Дионисий Младший, получив приказ Папы Иоанна I составить новую таблицу пасхалий, предложил считать вслед за 247 годом эры Диоклетиана 532 год *ab incarnatio* (от воплощения) Христа. Дионисий опирался на таблицы Александрийской церкви, которая вела счет лет от Диоклетиана, но не желал продолжать отсчитывать года от эры гонителя христиан.

Таблицы Дионисия использовались Римской католической церковью до введения григорианского календаря в 1582 году. Ни малейшей возможности сбоя в счете лет при этом не было. Диоклетиан был провозглашен императором в консульство Карина и Нумериана, и по списку консулов это соответствует 284 году от Р. Х. Имеем $284 + 248 = 532$. Такую проверку, кстати, осуществил Петавий в 1627 году. В XIX веке Л. Иделер по астрономическим данным установил, что 81 год Диоклетиана соответствует 1112 году эры Набонассара, откуда также следует, что Диоклетиан начал царствовать в 284 году от Рождества Христова. Скалигер в 1582 году отметил, что коптская христианская церковь, продолжавшая вести счет лет от Диоклетиана, считает, что с 29 августа 1582 пошел 1299 год Диоклетиана. Эта церковь и поныне считает года от Диоклетиана.

Все сходится, все эти факты доказывают, что продолжается непрерывный счет годов! Более того, в таблицы Дионисия были включены индикции — 15-летние периоды сбора налогов, использовавшиеся еще в Древнем Риме; исчисление годов по этим индикциям велось Верховным трибуналом Священной Римской империи вплоть до 1806 года, когда после Аустерлица австрийский император счел за благо эту империю упразднить. Это уже почти наше время. И речи быть не может о просчете в хронологии. Ни до, ни после 532 года, ни в самом его течении сбоя хронологии не было. Наше летоисчисление просто является продолжением римского, которое неопровержимо подтверждается астрономическими данными. Историография и астрономия категорически отвергают возможность просчета в хронологии.

История созвездий

От этой позорной страницы в истории Российской науки вернемся к нашим звездам. Первым решился изменить птолемеевскую систему созвездий голландский картограф Герард Меркатор (1512—1594), который в 1551 г. выделил на своем небесном глобусе созвездия Антиноя и Волос Вероники (Птолемей включал соответствующие астеризмы в состав Орла и Льва). Тихо Браге последовал Меркатору, но до наших дней дожило лишь созвездие Волосы Вероники.

Затем пришла очередь южного неба — не только из-за плаваний в южное полушарие, а и потому, что некоторая часть области неба, оставленной древними учеными без созвездий (ибо она была под горизонтом), теперь благодаря прецессии стала доступной для наблюдений из Южной Европы. Пионерами здесь стали голландцы. Картограф П. Планциус поручил Питеру Кейзеру, главному штурману одного из кораблей первой торговой экспедиции в Индию (в 1595 г.), провести наблюдения зоны южного неба. Кейзер измерил положения 135 звезд и поделил всю зону на 12 созвездий. Эти созвездия появились на глобусе Планциуса в 1598 г. С 1603 г. они вошли

во всеобщее употребление, так как были изображены на звездном атласе Иоганна Байера. Иногда ошибочно утверждают, что он и ввел новые южные созвездия.

Заслуга Байера состоит в том, что он обозначил звезды в созвездиях буквами греческого алфавита (примерно в порядке яркости). Эти обозначения, а также номера Флемстида (для слабых звезд только они и существуют) используются и поныне вместе с именем созвездия (чаще всего его латинским трехбуквенным сокращением). Между прочим, в каталоге Птолемея звезды в созвездиях также пронумерованы (очевидно, в том порядке, в каком они наблюдались, чаще всего по возрастающим долготам внутри групп близких звезд), но эти номера почему-то мало использовались.

Все 12 созвездий Кейзера дожили до наших дней. Это Райская птица, Хамелеон, Золотая рыба, Журавль, Южный змей, Индеец, Мушка, Павлин, Феникс, Южный Треугольник, Тукан и Летучая рыба. Утвердивший их Планциус ввел и несколько других, но из них сохранились только Голубь, Единорог и Жираф. Не очень повезло и Гевелию: из одиннадцати введенных им созвездий лишь Гончие Псы, Ящерица, Малый Лев, Рысь, Щит, Секстант и Лисичка сохранились на современных картах.

Последние пробелы на карте южного неба заполнил Никола Лакайль (1713—1762), который в 1751—1752 гг. успел пронаблюдать на Мысе Доброй Надежды позиции 10 тыс. звезд. Он ввел 14 новых созвездий, среди которых — Столовая гора (в честь горы близ Кейптауна, на которой он вел свои наблюдения). Все остальные получили названия инструментов, включая Телескоп и Сетку (сеть нитей в окуляре телескопа). Эти имена сохранились и ныне, хотя новые созвездия состоят из слабых звезд — лишь в трех есть звезды 3-й величины. Лакайль разделил древнее созвездие Корабль аргонавтов на Киль, Корму, Компас и Паруса.

Больше всего созвездий было в атласе Иоганна Бode (1747—1826). В 1801 г. его атлас содержал свыше ста созвездий, в том числе, например, такое, как Электрическая машина. И в

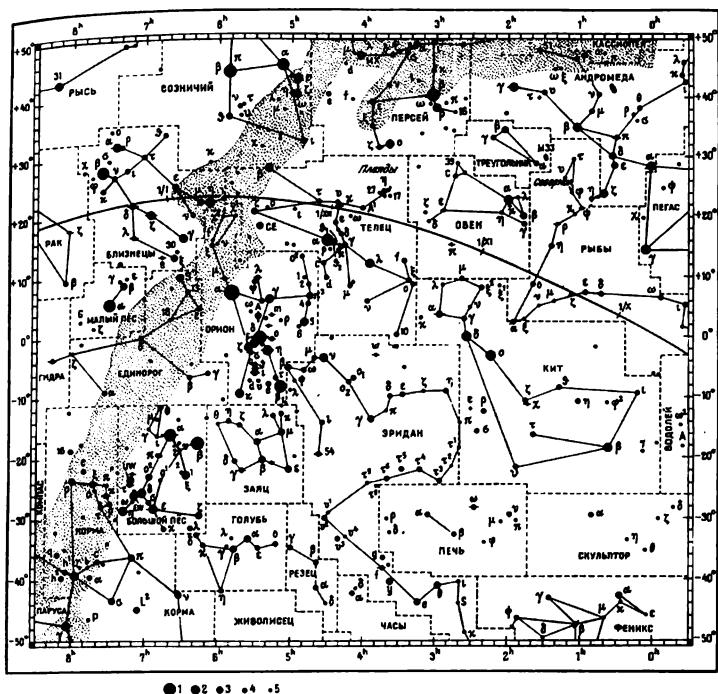


Рис. 1.6. Карта созвездий осеннего и зимнего неба.
Андромеда кульминирует в полночь в начале октября,
а Орион — в конце декабря.

количестве, и в границах созвездий более века существовала неопределенность, положить конец которой было решено на 1 съезде Международного астрономического союза (1922 г.). Тогда бельгийскому астроному Эжену Дельпорту было поручено разграничить созвездия. Окончательный список 88 созвездий и их причудливых (для сохранения древней традиции), но прямоугольных границ вдоль отрезков небесных параллелей и меридианов (по склонению и прямому восхождению) был опубликован в 1930 г. Многовековая история картографирования звездного неба закончилась.

И поныне первый вопрос, который задают при известии об открытии новой звезды или другого интересного объекта:

«А в каком созвездии?». Ответ на него сразу дает представление о том, где искать «новичка», и с вечера или только под утро. Иногда сказать сразу — в каком созвездии — нелегко. Для объектов на границах созвездий надо знать точные координаты, их надо переводить на эпоху 1875.0, к которой отнесены границы. Но ни границы, ни странные имена созвездий изменяться уже не будут. Наследие Птолемея, Гевелия, Лакайля и голландских мореходов останется навсегда на службе астрономии.

Глава 2. МИР ЗВЕЗД

Зеленым золотом горит звезда Кентавра
На южных небесах.

Иван Бунин

Что такое звезда

Все знают, что звезды бывают разной величины, но понятие «звездная величина» не имеет ничего общего с геометрическими размерами звезды. Это разделение звезд по видимому блеску, которое берет свое начало от каталога «Альмагеста», в котором самым ярким звездам была приписана первая величина, а самым слабым — шестая. С появлением телескопов эта шкала была продолжена дальше, 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 и, значит, разница на 1 величину — в 2,512 раза. Средний блеск 20 ярчайших звезд неба был принят равным 1-й величине и значит, 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 Денеб (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 вышли за ее границы.

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 и просто неверно. Наше Солнце — рядовая звезда Галактики, диаметр его 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 в 100 000 раз больше энергии, чем Солнце, но оно примерно в 200 000 раз ближе к нам, чем самая близкая звезда (она случайно похожа на Солнце), и поэтому Солнце посылает на Землю в $200\,000^2$ больше лучистой энергии*. Подобно всем звездам, Солнце вращается вокруг центра нашей Галактики, скорость этого движения около 200 км/с, а период около 200 млн. лет. Движение звезд (а для более близких звезд также и Солнца) в пространстве приводит к их очень медленному перемещению по небесной сфере (называемому собственным движением), которое определяется с помощью точных и разнесенных во времени измерений координат звезд, а проекция вектора скорости на луч зрения (называемая лучевой скоростью) измеряется по смещению спектральных линий в спектре звезды, обусловленному эффектом Доплера.

Но как мы все это узнали — что такое звезды, почему они светят, почему наше Солнце дает жизнь всему на Земле? Чтобы понять природу звезд, надо прежде всего знать их расстояния.

Расстояние до Солнца

Шкала расстояний в астрономии в конечном счете описывается на значение расстояния между Землей и Солнцем (астрономическую единицу, а.е.), и мы кратко расскажем о методах определения этой величины. Старейшим способом

является определение суточного параллакса Солнца и планет. Наблюдая Солнце, при восходе и в зените, мы смотрим на него из разных точек пространства; по разности его небесных координат можно определить расстояние. Задача сводится к решению треугольника, у которого известно основание и два угла при нем, очень близких, конечно, к 90° .

Казалось бы, проще всего непосредственное измерение параллактического смещения Солнца на небесной сфере при наблюдении его из разных точек земной поверхности. Очевидно, оно будет наибольшим при измерении различия в положении Солнца на небе из точек, находящихся на концах одного диаметра, но даже и этот угол очень мал — около $18''$. К тому же из-за большой яркости Солнца и нагревания им инструмента такие измерения очень неточны, и поэтому уже три века назад был предложен другой способ. Он основан на том, что относительные расстояния тел в Солнечной системе, выраженные в долях расстояния Земли от Солнца, хорошо известны. Их можно определить по третьему закону Кеплера, гласящему, что квадраты времен обращения планет вокруг Солнца относятся как кубы больших полуосей их орбит; при этом единицами измерения являются год и расстояние Земли от Солнца. Орбитальные периоды и взаимное положение планет на орбитах легко определяются из наблюдений, так что всегда можно нарисовать точный план Солнечной системы на любой момент времени. Достаточно определить расстояние между любыми двумя ее телами, чтобы получить масштаб плана, а тем самым и значение астрономической единицы. Измерить же положение планет можно гораздо точнее, чем положение Солнца, потому что это можно делать ночью, относительно «неподвижных» звезд. Впрочем, наблюдения прохождений Венеры по диску Солнца давали еще более точные результаты — понятно, что расстояние до Венеры в прохождении минимально и при наблюдениях из разных точек Земли пути ее по диску Солнца отличаются. Поэтому до конца XIX века астрономы гонялись за этими редкими событиями. Однако уже давно и этот и все другие «астрономические»

способы определения расстояния Солнца теперь представляют лишь исторический интерес.

Еще в 60-х годах расстояние до Венеры (и, следовательно, величину а. е.) начали измерять радиолокационным методом, подобно тому как в годы войны с помощью радиолокаторов научились определять расстояния до самолетов. Зная время между посылкой радиоимпульса и получением его отражения от Венеры и скорость света, легко найти расстояние. Если бы при расчете траектории наших автоматических станций, опускавшихся на Венеру, использовалось значение а. е., определенное только астрономическими методами, то это привело бы к промаху в три радиуса Венеры. Последние измерения, проведенные в США (радиолокационные наблюдения Венеры и Марса с привлечением данных оптических наблюдений), дают для астрономической единицы значение $149\,597\,870,5 \pm 1,6$ км. Для получения этой фантастической точности пришлось даже учесть новейшие определения скорости света.

Годичный параллакс

Для определения расстояний звезд первоначально также могли быть использованы только геометрические методы, пригодные лишь для близких звезд. Положение нашей планеты в пространстве изменяется вследствие вращения Земли вокруг Солнца и положение звезд на небесной сфере также должно изменяться с периодом в один год — подобно тому, как изменится положение близкого столба на фоне далекого леса, если сделать шаг вперед. Зная величину своего шага и измерив угол, на который смещается столб, школьник, изучавший геометрию, мог бы вычислить расстояние до столба. А чтобы измерить параллакс точнее, надо сделать много шагов вперед и назад. Земля это и делает, обращаясь вокруг Солнца.

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.



Рис. 2.1. Годи́чный параллакс p — угол, под которым со звезды видна большая полуось земной орбиты. Вследствие вращения Земли вокруг Солнца (☉) положение звезд на небесной сфере (его измеряют относительно более слабых и в среднем более далеких звезд) смещается за полгода на угол, равный $2p$.

Годи́чный параллакс звезды — это угол, под которым со звезды виден радиус земной орбиты*. Он был измерен лишь в 1837–1840 гг. почти одновременно в России, Германии и Африке. Этот угол равен угловому перемещению звезды за год относительно более слабых и, следовательно, в среднем более далеких звезд. Конечно, рассчитывать на успех можно было лишь в том случае, если для измерения параллакса выбраны достаточно близкие звезды.

В. Струве в Дерпте (ныне Тарту) избрал Ве́гу (α Лиры) из-за ее большой яркости, Бессель в Кенигсберге — 61 Лебедя из-за ее большого собственного движения (перемещения на небесной сфере) 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) — название, составленное из двух слов: параллакс и секунда. На расстоянии 1пк находится звезда, параллакс которой равен 1 угловой секунде. Парсек составляет 3,363 светового года или 206265 астрономических единиц (а.е. — среднее расстояние Земли от Солнца) или



Рис. 2.2. Южный Млечный Путь на закате.

В центре — созвездие Креста, слева — Кентавр с ярчайшими звездами Альфа (слева) и Бета.

$3,083 \times 10^{13}$ 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 и до сих пор — это ближайшая к нам звезда. На самом деле, это тесная система из двух связанных взаимным тяготением звезд, один из компонентов которой очень похож на Солнце; ее расстояние — 1,33 парсека.

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, которая разделяет движение системы α Кентавра и, возможно, вращается вокруг нее с периодом в десятки тысяч лет. Она ближе к нам, чем α Кентавра, на 0,02 парсека.

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 теперь, что полет к Луне, за тридцать земных диаметров, занимает около трех суток. Межпланетная станция «Пионер-10», впервые исследовавшая Юпитер и его спутники, была запущена в феврале 1972 года; 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 — в первой пятерке величайших событий в истории астрономии. Оно доказало, что звезды — это далекие солнца, светящиеся столь слабо только из-за безмерной удаленности.

Ныне наиболее точные значения параллаксов звезд приходят с орбитальных телескопов. Астрометрический спутник Гиппаркос, запущенный в 1989 г., позволил определить положения около 120 млн. звезд с ошибкой около 0,001 секунды дуги и значит, расстояние в 100 пк с его помощью можно было (в идеале) определить с ошибкой в 10%.

Сто парсек составляют лишь сотую долю расстояния до центра Галактики, но другие геометрические методы работают вплоть до расстояний в 1–2 килопарсека. Они используют перемещение Солнца и звезд в пространстве, которые приводят к медленному изменению координат звезд и их скоростей по лучу зрения. Эти методы годятся лишь для звездных коллективов и приносят хорошие результаты, если векторы движений данной группы звезд в пространстве параллельны — тогда их проекции на небесную сферу сходятся в одной точке — радианте. Зная расстояния каждой звезды от радианта и проекции скорости на небесную сферу (собственные движения, в секундах дуги) и на луч зрения (лучевые скорости, в километрах), можно определить расстояние. Определенное этим методом группового параллакса расстояние Гиад, ближайшего к нам скопления, долго оставалось краеугольным камнем шкалы расстояний.

Светимости и спектральные классы звезд

Для определения более далеких расстояний используют фотометрические методы измерения блеска звезд. Блеск убывает пропорционально квадрату расстояния и если известна светимость звезды (количество излучаемой ею энергии), то можно по ее блеску найти расстояние.

Светимость, абсолютное количество излучаемой звездой энергии, выражается в единицах светимости Солнца или в так называемых абсолютных величинах — звездной величине, которую звезда имела бы на расстоянии 10 пк. Светимость Солнца и его расстояние приводят к его звездной величине, равной $-26,75$, а его абсолютная величина равна $+4,82$ (в желтых лучах). Если учтено поглощение света в межзвездной среде, из абсолютной и видимой величины можно получить расстояние звезды, зная, что блеск ослабевает пропорционально квадрату расстояния и что разница на 1 величину соответствует различию в блеске в $2,512^{**}$.

Однако светимости звезд отличаются не в тысячи раз, как массы, а в миллионы раз, и определить их нелегко. Для этого, как и вообще для понимания физики звезд, потребовалось исследование звездных спектров и создание теории электронных оболочек атомных ядер.

Радужная полоска спектра Солнца и звезд пересечена многочисленными темными, а иногда и яркими линиями, указывающими на наличие в поверхностных слоях звезд тех или иных 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 века Г.Ресселом, соответствуют названиям спектральных классов звезд, расположенных в последовательности убывания температуры. В звездах класса *O* видны лишь слабые линии поглощения гелия, в звездах *A* доминируют водородные линии, в звездах *G* — многочисленные линии металлов, в звездах *M* видны уже молекулярные полосы TiO и CN.

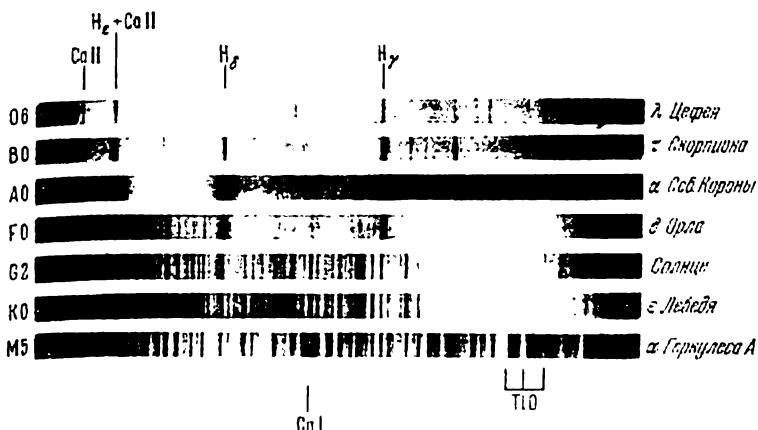


Рис. 2.3. Спектры звезд разных классов.

Спектральная классификация звезд была разработана на Гарвардской обсерватории в конце XIX века под руководством Э. Пикеринга, но лишь в 1925 г. Цецилия Пейн на основе теории ионизации атомов, развитой М. Саха, окончательно доказала, что различия спектральных классов звезд вызваны не отличиями химического состава (это эффект второго порядка), а различиями температуры поверхности звезд, которая определяет степень ионизации и интенсивность линий тех или иных элементов. Стоит отметить, что эти выводы, столь привычные ныне, долго не были приняты астрономами старшего поколения, в том числе Г. Ресселом. Звезды *O*, в спектрах которых видны линии гелия, наиболее горячи, а звезды *M*, которые показывают многочисленные линии металлов и даже молекулярные полосы, — наиболее холодные.

В 1905 г. Эйнар Герцшпрунг обнаружил, что звезды классов *K* и *M* делятся на гиганты и 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 *O* вниз к звездам *M*, были также и *K*, и *M* звезды высокой

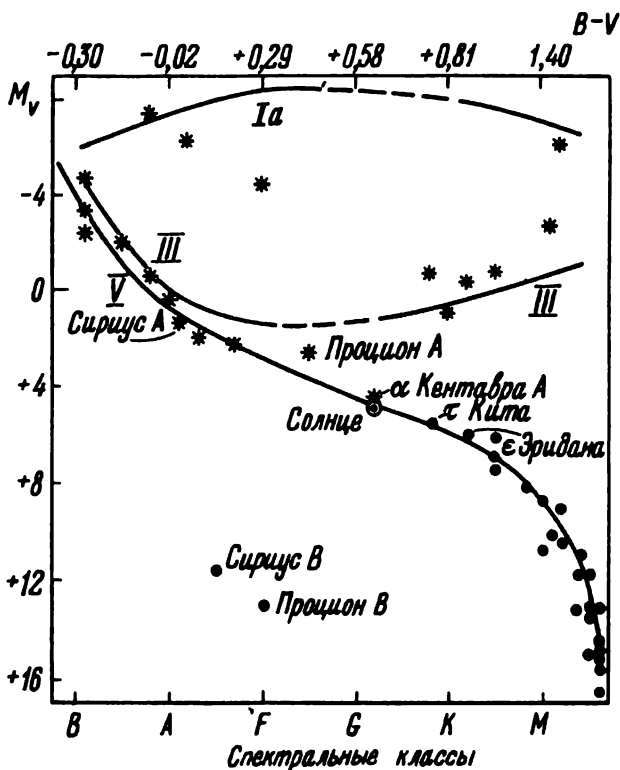


Рис. 2.4. Диаграмма Герцшпрунга—Рессела для ярчайших звезд неба (звездочки) и звезд, находящихся ближе 4 пк (кружки). Указаны последовательности ярких сверхгигантов (I), гигантов (III) и карликов (главная последовательность, V). Слева — абсолютные величины, наверху — шкала показателей цвета $B-V$ (разность блеска в синих и желтых лучах), внизу — спектральные классы. Сириус В и Прокцион В — белые карлики. На главной последовательности (ГП) находятся звезды, в которых «горит» водород, на нее попадают звезды после окончания гравитационного сжатия протозвезды. Эта стадия эволюции самая продолжительная и поэтому звезды класса светимости V составляют подавляющее большинство. Гиганты класса А собираются покинуть ГП, а гиганты классов К и М — маломассивные старые звезды, в ядрах которых горит гелий. В сверхгигантах — молодых массивных звездах тоже горит гелий, либо в ядре, либо ближе к поверхности звезды.

светимости. Сравнение с наблюдениями теоретической диаграммы Герцшпрунга—Рессела (Г—Р) было и остается лучшим способом проверки теорий звездной эволюции.

В настоящее время разработаны многочисленные способы определения светимости по спектральным данным или данным узкополосной фотометрии. Подчеркнем замечательную особенность этого метода определения расстояния: ошибка здесь не зависит от расстояния и составляет в среднем 20%.

Большой проблемой при определении фотометрических расстояний является учет поглощения света — видимая величина звезд всегда ослаблена поглощением и рассеянием света частицами межзвездной пыли. Учитывать поглощение света научились лишь в середине XX века, а ныне инфракрасная астрономия пробивает любые пылевые облака.

После создания теории звездных спектров стало ясно, что определить светимость звезды позволяют те линии, которые чувствительны не только к температуре, но и к плотности атмосферы. Плотность зависит от ускорения силы тяжести близ поверхности звезды, которое гораздо меньше у сверхгигантов, чем у карликов, так как массы их больше в десятки раз, а радиусы — в сотни и тысячи. При одинаковой температуре в разреженных атмосферах сверхгигантов достигается большая степень ионизации, поэтому линии ионизованных элементов в их спектрах усилены. От давления в атмосфере зависят и ширины некоторых линий, например, серии водородных линий, что для ранних звезд дает дополнительную информацию о светимости.

Итак, по одним только спектральным данным можно получить представление о положении звезды на диаграмме Г—Р. В 40-х годах на Йеркской обсерватории В. В. Морган и его сотрудники дополнили гарвардскую спектральную классификацию вторым параметром — классом светимости. Эта система (обозначаемая обычно МК, Моргана—Кинена) позволяет грубо оценить светимость звезды сравнением спектра со стандартным. В системе МК пять классов светимости, обозначаемых следующим образом:

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 не всегда они характеризуют светимость звезды. Так, среди звезд V класса светимости — 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, коль скоро после спектрального класса стоит индекс V.

Большинство ближайших звезд — желтые и красные карлики, хотя присутствует некоторое количество гигантов. Ни один сверхгигант, ни одна звезда класса O или B не попала в круг радиусом 4 пк от Солнца. Совсем другая картина получается, если построить диаграмму Г—Р для самых ярких звезд неба. Оказывается, что α Кентавра и Сириус ярки просто потому, что близки. Но вот Канопус, Денеб, Бетельгейзе — эти сверхгиганты излучают в тысячи раз больше энергии, чем Сириус, и уступают ему в блеске лишь потому, что в сотни раз дальше его. На диаграмме Г—Р, изображенной на рис. 2.4, указаны последовательности Ia, III и V, ближайшие звезды и самые яркие звезды нашего неба.

Источники энергии звезд

В создании теории звезд особая заслуга принадлежит А. Эддингтону. Он разработал к 1924 г. модель звезды, механическая устойчивость которой определяется балансом силы тяжести и лучевого плюс газового давления. Это давление

удерживает звезду от безудержного сжатия и обеспечивается оно очень высокой температурой, нарастающей к центру звезды. Но что создает эту температуру, что является источником звездной энергии? Дж. Джинс считал, что это аннигиляция, превращение вещества в энергию, а Эддингтон — что это ядерные реакции, превращение элементов. Он говорил в 1926 г., что возможное в лаборатории Резерфорда не может оказаться слишком трудным для природы и что «разумно надеяться, что в не слишком отдаленном будущем мы будем способны понять такую простую вещь, как звезда».

Разгаданное тогда же происхождение линий в спектрах звезд позволило определять температуры и химический состав их поверхностных слоев. Выяснилось, что относительное содержание химических элементов у всех звезд примерно одинаково и близко к солнечному, на 96–99.9% внешние слои звезд состоят из водорода и гелия, а остальное составляет железо, кальций и др. примерно в той же пропорции, как и средний химический состав Земли и метеоритов. У Солнца доля этих «тяжелых элементов» составляет около 2%. Резкое различие спектров звезд было объяснено различием температур их поверхности, хотя содержание элементов тяжелее гелия может отличаться в сотни раз. Перед теорией встала вторая задача принципиального значения — объяснить химический состав звезд и вообще вещества Вселенной.

Отныне, с 20-х годов XX века уже развитие астрономии стало зависеть от успехов физики, которая начала возвращать свой старый долг астрономии — основы механики были созданы Галилеем, Ньютоном, Лагранжем и Лапласом на основе астрономических данных. Успехи ядерной физики позволили Г. Бете (скончавшемуся в марте 2005 г.) заложить в 1938 г. основы теории источников энергии звезд. Концентрация большинства звезд на главной последовательности диаграммы Г—Р была объяснена тем, что это самая длительная стадия эволюции, на которой источником энергии является превращение водорода в гелий. Эта реакция в ее взрывном варианте была осуществлена на Земле в 1952–53 гг., но начавшиеся в

те же годы работы по созданию управляемого термоядерного реактора все еще не увенчались успехом. Достигнутое в середине XX века понимание природы звезд и в особенности источников их энергии является величайшим триумфом естествознания.

Обычно в истории науки ее достижения связываются с одним—двумя именами, но даже в отношении экспериментальных и наблюдательных работ это часто несправедливо, а в отношении теоретических исследований — несправедливо почти всегда. История запоминает обычно лишь последнее имя — ученого, после статьи которого утвержденное в ней положение становится общепринятым. Г. Бете получил в 1967 г. Нобелевскую премию за создание теории ядерных реакций в звездах, но он был не один. Принципиально правильную идею выдвинул, как уже говорилось, Эддингтон. Четыре протона соединяются в ядро гелия, масса которого несколько меньше суммы их массы — разность масс превращается в ходе реакций синтеза в энергию, в излучение. Своим оппонентам, считавшим, что недра звезд недостаточно горячи для превращения водорода в гелий, Эддингтон советовал отправиться в ад — поискать местечко погорячее.

Однако даже и при весьма высокой температуре, в рамках классической механики лишь ничтожная доля протонов способна преодолеть при своем сближении силы кулоновского отталкивания. Аналогичная трудность, но с обратным знаком существовала в теории радиоактивного альфа-распада; ее преодолел в 1927 г. Г. Гамов, используя квантово-механический подход. Через два года Ф. Хоутерманс и Р. Аткинсон использовали теорию Гамова, чтобы показать возможность ядерных реакций синтеза в недрах звезд.

Г. Бете и Ч. Критчфильд в 1938 г. предложили конкретную цепочку ядерных реакций, ведущую к превращению водорода в гелий — протон-протонный цикл, и тогда же К. Вейцзеккер выдвинул идею углеродно-азотного цикла. В 1939 г. Г. Бете опубликовал обстоятельную обобщающую статью «Производство энергии в звездах».

После выгорания водорода ядро звезды сжимается и нагревается еще сильнее, так что становятся возможными реакции превращения гелия в более тяжелые элементы. Ф.Хойл в 1954 г. показал, что для возможности образования элементов тяжелее гелия необходима реакция превращения трех атомов гелия в ядро углерода, причем у последнего должен существовать возбужденный уровень 7,82 Мэв. При наличии такого уровня у вновь образовавшегося атома углерода он живет достаточно долго для того, чтобы преобразоваться затем в еще более тяжелые элементы. Предсказание наличия такого уровня — вытекающее уже из самого факта нашего существования — было затем подтверждено в лабораторном эксперименте. Блистательное достижение космической и земной физики, одно из лучших свидетельств достоверности научной теории! Однако скончавшийся в 2000 г. Ф.Хойл так и не получил Нобелевской премии, не имел ее и А. Эддингтон...

В недрах большинства звезд протекают термоядерные реакции превращения водорода в гелий — четыре протона объединяются в альфа-частицу. Эти реакции происходят в глубинных слоях звезд, где температура достигает нескольких десятков миллионов градусов. Такая температура возникает в результате гравитационного сжатия — завершающего этапа конденсации протозвезды из газового облака. Когда начинается ядерное горение водорода, дальнейшее сжатие звезды прекращается. Истощение водорода в ядре звезды приводит к охлаждению и сжатию звездного ядра. Вследствие этого сжатия температура снова повышается и становится достаточной для включения термоядерной реакции превращения гелия в углерод. Дальнейшая судьба звезды определяется последовательной сменой термоядерных реакций, по-разному происходящей у звезд с той или иной массой. Углерод может далее превращаться в кислород, и такого рода цепочка термоядерных реакций синтеза, при которых выделяется энергия, продолжается до тех пор, 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 с массой, меньшей 1,4 солнечных сжимается в белый карлик, плотность вещества которого порядка тонны в кубическом сантиметре, а при массе 1,4—3 солнечных — в еще более плотную нейтронную звезду. Звезду большей массы, по современным представлениям, ждет еще более фантастическая судьба — она должна, если не сбросит избыток массы, сколлапсировать за пределы так называемого гравитационного радиуса R_g ,

$$R_g = 2GM/c^2,$$

где G — гравитационная постоянная, а M — масса звезды. После достижения звездой этого радиуса даже кванты излучения не могут оторваться от звезды и она исчезает для внешнего наблюдателя. Такие объекты называют коллапсами или черными дырами. Их фантастические свойства и наблюдательные признаки их существования описаны в книге А. М. Черепашука и А. Д. Чернина «Вселенная, жизнь, черные дыры» (Фрязино, Век 2, 2003).

Иногда (а для звезд с массой, большей 7 солнечных, возможно, всегда) заключительные стадии эволюции звезд сопровождаются грандиозной катастрофой — взрывом звезды. При этом звезда излучает в течение нескольких суток столько же энергии, сколько целая галактика, состоящая из многих миллиардов обычных звезд. Это явление получило название вспышки сверхновой звезды. Взрыв начинается с гравитационного коллапса звезды — падения к центру, лишенному источников энергии. Механизм перехода коллапса во взрыв, сметающий оболочки звезды, не вполне еще ясен. В результате остается либо черная дыра, либо нейтронное ядро звезды — бешено вращающийся (в силу закона сохранения момента вращения при сжатии) пульсар, а межзвездная среда обогащается тяжелыми элементами, выработанными при термоядерных реакциях в недрах звезды и в процессе самого взрыва.

Все эти этапы звездной эволюции, предсказанные теоретическими представлениями о термоядерных реакциях как источниках энергии звезд, подтвердились многочисленными результатами наблюдений. Особенно убедительные данные получены при изучении звездных скоплений.

***) Дополнение 1**

Если известен годичный параллакс звезды (π), ее расстояние r легко найти:

$$r = a / \sin \pi, \text{ (рис. 2.1).}$$

Здесь a — расстояние Земли от Солнца, астрономическая единица (а. е.). Параллакс не превышает $1''$ и синус малого угла можно заменить углом в радианной мере:

$$\sin \pi \approx \pi'' / 206\,265.$$

Тогда

$$r = a \cdot 206\,265 / \pi'' \text{ км.}$$

Ясно, однако, что выражать гигантские звездные расстояния в километрах более чем неудобно. Немногим лучше и астрономические единицы. Общепринятой в звездной астрономии единицей расстояний является парсек (пк) — название, составленное из двух слов: параллакс и секунда. Ее предложил в 1912 г. Г. Тернер, один из создателей фотографической астрометрии. На расстоянии 1 пак находится звезда, параллакс которой равен 1 секунде. Расстояние в парсеках очень просто выражается через параллакс:

$$r = 1 / \pi \text{ пак.}$$

Из определения следует, что $1 \text{ пак} = 206\,265 \text{ а. е.} = 3,08 \cdot 10^{18} \text{ см}$. Килопарсек (кпк) равен 1000 пак ; $1000 \text{ кпк} = 1 \text{ мегапарсек (Мпк)}$.

Световой год употребляется исключительно в популярной литературе: $1 \text{ пак} = 3,259 \text{ св. лет}$. Ближайшая звезда, α Кентавра, находится на расстоянии в $1,34 \text{ пак}$ и ее параллакс равен $0'',75$.

****) Дополнение 2**

Светимость выражается в единицах светимости Солнца или в так называемых абсолютных величинах — звездной величине, которую звезда имела бы на расстоянии 10 пк. Согласно определению, видимая звездная величина m связана с абсолютной звездной величиной M формулой:

$$J/J_0 = 2,512^{M-m} = 10^2/r^2,$$

где J — блеск звезды на данном расстоянии r и J_0 — блеск ее на расстоянии 10 пк. (Как известно, блеск обратно пропорционален квадрату расстояния.) Из этой формулы следует (логарифмируем):

$$0,4 (M - m) = 2 - 2 \lg r,$$

откуда

$$\lg r = 0,2 (m - M) + 1.$$

Таким образом, расстояние определяется величиной $m - M$, называемой модулем расстояния.

Глава 3. ЗВЕЗДНЫЕ ГРУППИРОВКИ

Небесный свод, горящий славой звездной,
Таинственно глядит из глубины.
И мы плывем, сияющею бездной,
Со всех сторон окружены.

Федор Тютчев

Звездные скопления

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. Напомним, что Плеяды и Гиады — ближайшие к нам звездные скопления — хотя и имеют имена, созвездиями не являются; это так называемые астеризмы, они находятся в созвездии Тельца.

Звездное скопление — это группа звезд, расположенных близко друг к другу и связанных взаимным тяготением. Звезды скопления образовались совместно в едином процессе и более или менее одновременно. Сейчас в Галактике насчитывают 1180 рассеянных скоплений и 135 шаровых звездных скоплений. Точнее говоря, такое количество скоплений 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.

Как говорит само название, рассеянные скопления — это разреженные группы; они состоят из десятков и сотен, реже тысяч, звезд (рис. 3.1). Шаровые скопления — круглые образования, включающие десятки и сотни тысяч звезд, сильно

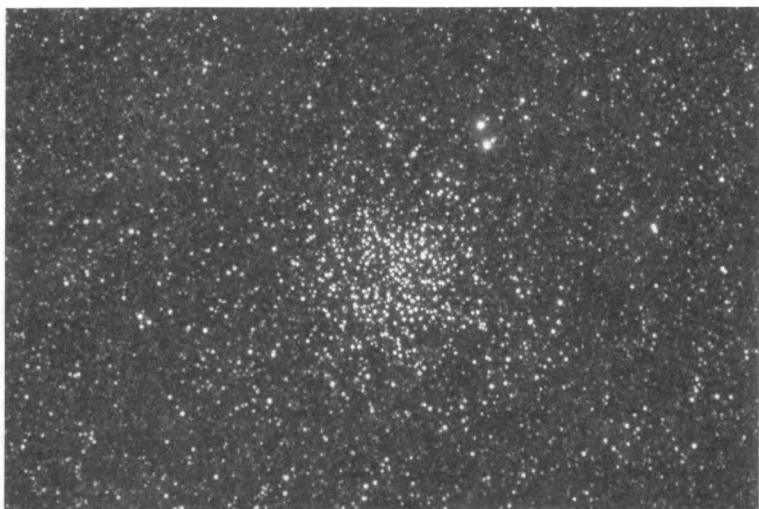


Рис. 3.1. М11, одно из богатейших рассеянных скоплений Галактики, находится в облаке Млечного Пути в Щите.

концентрирующихся к центру скопления (рис. 3.2). Резко отличается распределение в пространстве двух типов скоплений: рассеянные скопления концентрируются к плоскости Галактики, шаровые — к ее центру. Отличаются и возрасты шаровых и рассеянных скоплений — первые имеют возраст всегда около 12 млрд. лет, вторые же образуются и в наше время. Об этом говорят диаграммы Г—Р скоплений.

Диаграммы рассеянных скоплений обычно представляют собой узкую полосу точек, тянущуюся вдоль главной последовательности (ГП). Верхний конец этой цепочки отклоняется вверх и вправо. Часто присутствует несколько красных гигантов, отделенных от ГП ненаселенной



Рис. 3.2. Шаровое скопление 47 Тукана (получило обозначение как звезда в созвездии Тукана из-за своей яркости).

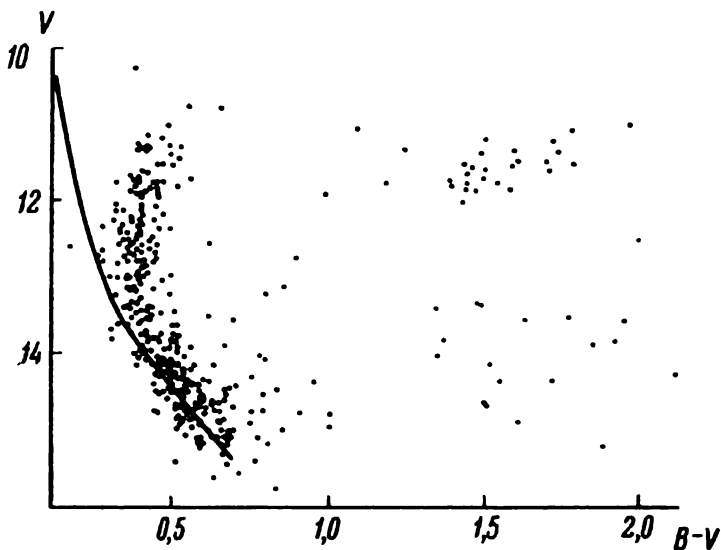


Рис. 3.3. Диаграмма показатель цвета—звездная величина для скопления М11. Показано положение исходной главной последовательности, от которой уже проэволюционировали вправо ярчайшие звезды. Еще более массивные звезды скопления уже перешли на ветвь красных гигантов (справа).

областью диаграммы — пробелом Герцшпрунга; светимость их близка к светимости ярчайших звезд ГП скопления (рис. 3.3).

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

Исследование звездных скоплений является, по-видимому, наиболее плодотворным занятием для астрономов, изучающих физику звезд и строение звездных систем. Связано это прежде всего с тем, что звезды в скоплении образовались в едином

процессе и более или менее одновременно. Из трех основных характеристик звезд — массы, химического состава и возраста — две последние можно считать (строго говоря, лишь в первом приближении) одинаковыми для всех звезд, входящих в данное скопление. Следовательно, различие их свойств определяется только различием в массах. Это намного облегчает задачу сравнения выводов теории внутреннего строения и эволюции звезд с наблюдательными данными.

В отличие от физиков, астрономы не могут экспериментировать. Те области астрономии, в которых ныне стал возможен прямой эксперимент, когда изучаемый объект доступен непосредственным измерениям, по сути дела, уже постепенно отходят от астрономии — например, изучение Луны и планет. Астроном может что угодно делать с квантами излучения изучаемого объекта (и в настоящее время ему доступен весь диапазон длин волн электромагнитных излучений), но он ни на йоту не может изменить условия, в которых зарождается это излучение. Он должен либо ждать, пока изменятся условия внутри объекта (или на пути идущего от него излучения), либо же отбирать объекты, характеристики которых зависят от как можно меньшего числа параметров. Именно поэтому особенно эффективными оказываются исследования переменных звезд (и других нестационарных объектов) и звездных скоплений. Физик, экспериментируя с какой-нибудь установкой, также часто варьирует только одну какую-либо характеристику, оставляя другие неизменными. Астрономы узнают особенно много, исследуя объекты, в которых подобные условия создаются самой природой.

Эволюция звезд

Именно возможность построения точных диаграмм Герцшпрунга—Рессела для различных скоплений и их сопоставление с выводами теории привели в 50-х годах к появлению современных представлений об эволюции звезд. При этом понадобилось развитие вычислительной техники, теории

ядерной физики, методов фотоэлектрической фотометрии и способов определения расстояний и поглощения света. Теория внутреннего строения и эволюции звезд стала фундаментом наших представлений о Вселенной. Но прочен ли этот фундамент? Разве мало было случаев в прошлом, когда всеобщая убежденность в понимании какого-либо явления впоследствии оказывалась необоснованной?

Первые эксперименты по регистрации солнечных нейтрино, возникающих в недрах звезды при термоядерных реакциях, дали существенно меньшую величину их потока, чем это следует из теории внутреннего строения и эволюции звезд. Однако делать отсюда вывод о несостоятельности этой теории было так же неблагоразумно, как приходить к заключению об аварии на ГЭС, если у вас в квартире погасла лампочка. Это замечание Д. Я. Мартынова почти тридцатилетней давности оказалось справедливо.

В 2001 г. было объявлено, что эксперименты, проведенные на нейтринной обсерватории в Садбери (Канада) и на установке Супер-Камиоканде в Японии подтвердили справедливость старой гипотезы Б. М. Понтекорво о возможности осцилляции типов нейтрино. Помимо электронных нейтрино, которые только и могли регистрироваться в предыдущих наблюдениях, существуют два других типа этой частицы, которые, согласно гипотезе Понтекорво, могут превращаться друг в друга, и по дороге от Солнца это может случиться с ними неоднократно. Солнце испускает электронные нейтрино в полном соответствии с теорией, но часть из них добирается до Земли уже как нейтрино других типов. Наблюдения на Супер-Камиоканде позволили установить, что полный поток нейтрино всех трех типов находится в полном соответствии со стандартной моделью внутреннего строения и источников энергии Солнца.

Теория не только объяснила существование ряда астрономических объектов и явлений, но и предсказала многие из них, не наблюдавшихся ранее. Фундамент ее был заложен на основе анализа диаграмм Герцшпрунга—Рессела, полученных в 1953—1956 гг. для десятка звездных скоплений. В настоящее

время надежные диаграммы построены для шести сотен звездных скоплений в нашей Галактике и в ближайших галактиках. И среди этих скоплений до сих пор не оказалось ни одного, для которого диаграмма Герцшпрунга—Рессела противоречила бы выводам теории звездной эволюции.

Как уже говорилось, чем больше масса звезды, тем меньше время ее пребывания на ГП. Поэтому самые яркие звезды скопления уклоняются вправо от начальной ГП. Однако правее ГП находятся и наиболее слабые звезды. Собственно говоря, они являются еще протозвездами, поскольку не успели закончить свое гравитационное сжатие и подойти к ГП, двигаясь справа налево. Со столь ранней стадией эволюции, очевидно, связана и переменность блеска у большинства этих объектов, чаще всего объясняемая бурными движениями газа в обширной конвективной оболочке протозвезд, не закончивших гравитационную конденсацию.

Имеются много признаков того, что вся область, покрываемая на небе созвездием Ориона, является очагом звездообразования, в разных частях которого 10^7 лет назад началось — и по сей день происходит — образование звезд. На расстоянии 12° от Трапеции Ориона, в голове небесного охотника, находится группировка, возраст которой оценивается в 10^7 лет, в ней уже нет газа и пыли. Ярчайшие звезды созвездия — Ригель и красный сверхгигант Бетельгейзе — очевидно, также связаны с этим давно действующим очагом звездообразования. Это одна из крупнейших в Галактике OB-ассоциаций (Орион OB1) с диаметром около 150 пк — и один из редчайших случаев, когда большинство ярких звезд созвездия и в пространстве находятся рядом друг с другом.

Очаг звездообразования в Орионе является одним из ближайших к Земле. Большинство областей звездообразования в Галактике находятся на расстоянии 4—8 кпк от галактического центра. Все они оказываются связанными с облаками молекулярного водорода, наибольшие из которых обладают массой порядка 10^5 — 10^6 масс Солнца. Как примесь в этих облаках присутствуют молекулы CO, CH_3CHO , CH_3OH , NH_3

и многие другие. Есть основания полагать, что такие облака должны находиться в наиболее плотных областях огромных комплексов атомарного водорода. Конечно, 25–30% их массы составляет ненаблюдаемый гелий.

Звезды, ушедшие с ГП, лишь недолго находятся на стадии красного сверхгиганта или (для менее массивных звезд) на стадии гиганта. Потому-то последние и отсутствуют в Плеядах: из-за бедности этого скопления вероятность застать в нем звезды на кратковременной стадии красного сверхгиганта мала. Звезды в Плеядах, уже прошедшие эту стадию, в настоящий момент превратились в белые карлики (или нейтронные звезды), а звезды с меньшей массой еще не покинули ГП.

Диаграммы Герцшпрунга–Рессела для скоплений среднего возраста хорошо согласуются с теорией, которая утверждает, что звезда с массой больше двух масс Солнца скачком покидает верхнюю границу ГП. Быстро пересекая пробел Герцшпрунга, звезда достигает области красных сверхгигантов. Сжатие звездного ядра, начавшееся при уходе с ГП, в этот момент заканчивается — температура становится достаточной для включения термоядерной реакции превращения гелия в углерод. Как показывают расчеты, звезда начинает затем передвигаться влево, описывая на диаграмме петлю с тем большим размахом, чем больше масса звезды (рис. 3.4). Так, сверхгиганты классов *B* и *A* в скоплении η и χ Персея, положение которых на диаграмме Герцшпрунга–Рессела соответствует левым концам петель, находятся уже снова вблизи ГП.

Теперь займемся шаровыми скоплениями. Это гигантские сильно концентрирующиеся к центру образования с массами порядка ста тысяч солнечных. В нашей Галактике они (за двумя исключениями) имеют похожие и самые древние возрасты. На памяти автора оценка их возраста менялась от $5 \cdot 10^9$ до $25 \cdot 10^9$ лет. Ныне наилучшая оценка возраста Вселенной составляет 13,7 млрд. лет, и недавно появились сообщения об обнаружении звезд с возрастом в 14 млрд. лет. Так или иначе, ясно, что классические шаровые скопления лишь чуть моложе Вселенной в целом. Трудности, возникающие при определении

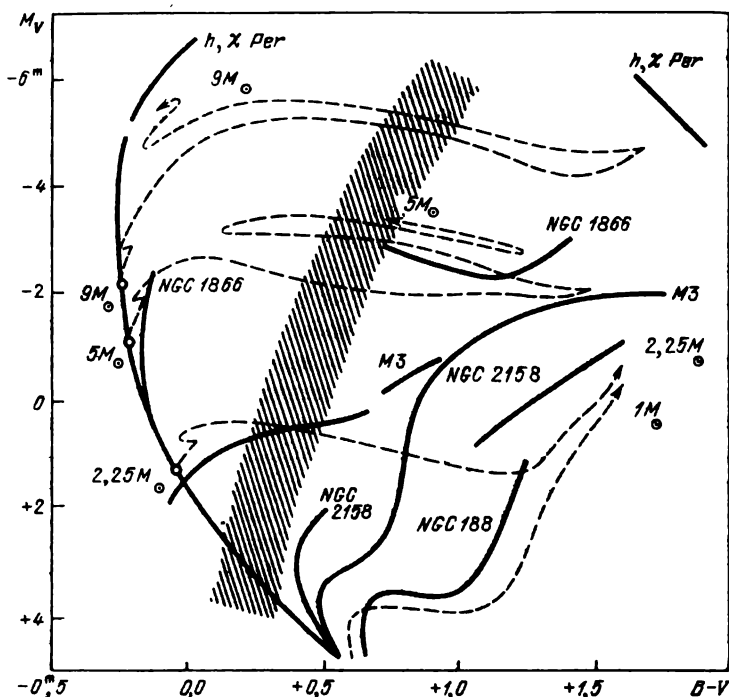


Рис. 3.4. Сводная диаграмма цвет — абсолютная величина M_V для четырех рассеянных и одного шарового (M3) скопления. Горизонтальная ветвь шарового скопления M3 тянется влево от его ветви гигантов (наклонная линия между 2.25 и M3). Пунктиром показаны пути эволюции звезд разных масс (указаны в единицах массы Солнца) по диаграмме, начиная от главной последовательности. Заштрихована полоса нестабильности, попадая в которую в процессе эволюции, звезды становятся цефеидами и другими пульсирующими переменными. Соответствующее этой полосе сочетание светимости и температуры означает наличие близ поверхности звезды зоны неполной ионизации гелия, которая ответственна за поддержание пульсаций. Указаны номера скоплений по каталогу New General Catalog of clusters and nebulae (NGC) или Мессье (M).

возрастов шаровых скоплений, связаны с учетом зависимости эволюции скоплений от их химического состава (в частности, здесь могут проявляться различия в содержании гелия, о чем

до сих пор идут споры) и с удаленностью шаровых скоплений от Солнца (вследствие их низкой пространственной плотности), из-за чего их звезды слабы.

Особенностью диаграмм Герцшпрунга—Рессела для шаровых скоплений является горизонтальная ветвь (рис. 3.4). Ее зачатки есть и у старейших рассеянных скоплений, на диаграмме Герцшпрунга—Рессела которых она лежит заметно ниже. Населенность горизонтальной ветви, как и некоторые другие характеристики диаграмм Герцшпрунга—Рессела шаровых скоплений, сильно зависят от химического состава: у скоплений, бедных тяжелыми элементами, сильно развита голубая часть этой ветви; у скоплений, богатых тяжелыми элементами, выделяется часть ветви, примыкающая к ветви гигантов.

Пожалуй, еще нет устоявшейся интерпретации существования этой горизонтальной ветви. У шаровых скоплений на диаграмме Г—Р вправо от ГП находятся звезды с массой около одной солнечной или чуть меньше. Они продвигаются вверх и вправо по ветви гигантов до тех пор, пока в центре звезд не начинается горение гелия. По-видимому, после этого звезды перепрыгивают скачком на горизонтальную ветвь и располагаются на ней в зависимости от своей (хотя и мало отличающейся) массы и химического состава. Эволюционного движения вдоль горизонтальной ветви, вероятно, не происходит, и эта ветвь является неким аналогом начальной ГП для звезд с массами, близкими к солнечной и горением гелия в их недрах.

Звездные ассоциации

При рождении современных представлений о происхождении звезд огромную роль сыграли звездные ассоциации. В нашей Галактике они обычно не заметны на фотографиях и выделяются из звезд фона лишь как сгущения звезд определенного типа. Еще в 1910—1914 гг., после появления первых каталогов спектров и лучевых скоростей звезд, Я. Каптейн, В. Босс и А. Эддингтон обнаружили большие группировки

горячих звезд (спектральных классов *O* и *B*) и, в частности, известные ныне как ОВ-ассоциации в Орионе, Скорпионе и Кентавре.

Х. Шепли в 1927 г. пришел к выводу, что звездные скопления в ряде случаев являются концентрированными частями больших систем. К такому же выводу пришел и В. Биделман, опубликовавший в 1943 г. результаты исследования сверхгигантов в области двойного скопления η и χ Персея. Физическая их связь со скоплением несомненна, но размеры всей группировки составляли примерно 200 пк (у рассеянных скоплений они очень редко превосходят 1 пк). В. Биделман заключил, что эти сверхгиганты не могли быть выходцами из двойного скопления, каждое из которых способно удержать своих членов, и что проблема динамики звездных облаков еще далека от решения. О. Струве исследовал в 1945 г. аналогичную группу сверхгигантов вокруг рассеянного скопления NGC 6231 (в Скорпионе) и отметил, что тенденция скоплений быть окруженными протяженными группами сверхгигантов — одна из наиболее важных их структурных особенностей.

Именно эти две группы были приведены В. А. Амбарцумяном в 1947 г. как примеры разреженных группировок ОВ-звезд; он предложил назвать их звездные ассоциации. Но дело, конечно, не в новом названии. В. А. Амбарцумян оценил их плотность и пришел к выводу, что она недостаточна для устойчивости группировки, подверженной действию приливных сил Галактики. Ни Бидельман, ни Струве на это заключение не отважились, хотя в руках у Амбарцумяна были первоначально лишь их данные. Он нашел, что за срок порядка 10^7 лет ассоциации должны были бы распасться. Из динамической неустойчивости ассоциаций следовала молодость их звезд, и эти оценки возраста ассоциаций привлекли большое внимание. Они получили вроде бы подтверждение в 1952 г., когда В. Блау обнаружил, что собственные движения звезд небольшой О-ассоциации вблизи χ Персея указывают на ее расширение со скоростью около 10 км/с. Вывод о молодости звезд высокой светимости стал общепринятым.

Однако на выводе о динамической неустойчивости ассоциаций В. А. Амбарцумян не остановился. По его оценке, за срок порядка 10^7 лет ассоциации должны заметным образом растянуться параллельно галактической плоскости, однако имевшиеся тогда наблюдательные данные этого не показывали. Отсюда В. А. Амбарцумян заключил, что звезды ассоциаций уже при рождении получили скорость не менее 1 км/с (иначе влияние дифференциальности галактического вращения, т.е. приливных сил центра Галактики, сказалось бы на форме ассоциаций), но и не более 10 км/с (такие большие скорости были бы легко заметны). А поскольку конденсация диффузного вещества может дать только устойчивую звездную систему, Амбарцумян был вынужден предположить, что звезды образуются вследствие взрывного распада компактных массивных ненаблюдаемых тел.

Это предположение влечет и физические, и чисто логические проблемы, что побудило многих астрономов выступить против него. Представления о самом существовании звездных ассоциаций, их расширении и взрывном образовании звезд из ненаблюдаемых сверхплотных 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. Отметим, что сама возможность критиковать «учение о звездных ассоциациях» (а оно было в 1950 г. удостоено Сталинской премии) говорит о том, что моральный климат в отечественной астрономии существенно отличался от такового, скажем, в биологии...

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 HII вокруг O-звезд, а также при

взрывах сверхновых, недоучитывалась. Правда, для должной оценки ее влияния 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 разреженной и большой по размерам, так что будет классифицироваться как ассоциация.

Возможно, острые дискуссии, сотрясавшие нашу астрономию в начале 50-х и возобновившиеся в 70-е гг., и не имели бы места, если бы этот простой механизм расширения и распада ассоциаций был тогда общепринят, как сейчас. Он был известен давно, но сведения о низкой эффективности звездообразования, о молекулярных облаках накопились лишь в 80-е годы. 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 телами. Плотность молекулярных облаков намного выше, чем у порождаемых ими звездных скоплений. Эти облака, состоящие в основном из молекулярного водорода, действительно являются протозвездными телами, ибо 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, трудно вообразить, что он сам не понимал ее безнадежности. И. С. Шкловский в разговоре с автором (которому суждено было стать последним) в декабре 1984 г. назвал ее лысенковщиной, и добавил, что и социальные корни те же... Впрочем, есть сведения, что в частных разговорах В. А. Амбарцумян признавал, что «концепция» стала чем-то вроде фирменного знака Бюраканской обсерватории, от которого не след отказываться...

Звездные комплексы

В спиральных рукавах галактик давно были известны образования еще больших размеров, чем ассоциации — гигантские звездные облака, однако до 70-х годов была общепринята точка зрения, что они являются случайно образовавшимися конгломератами звезд, генетически не связанными друг с другом. В 1975–1979 гг. автор представил аргументы в пользу предположения, что помимо звездных скоплений с размерами до 20 пк и звездных ассоциаций с размерами в 30–200 пк, существуют еще более обширные группировки, объединяющие как отдельные звезды, так и скопления и ассоциации. Возраст таких группировок доходит до 100 млн. лет, а размеры до 1 кпк; для них я предложил название «звездные комплексы». Одним из них является Местная система, обширная уплощенная группировка молодых звезд с диаметром примерно в 800 пк, ее плоскость наклонена к плоскости Млечного Пути на угол в 18 градусов. Первые признаки ее существования были найдены американским астрономом Гульдом около 150 лет назад — он заметил, что ярчайшие звезды неба концентрируются к большому кругу («поясу Гульда»), наклоненному к линии экватора 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 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. Ванден Берг выделил в ней около 200 группировок голубых звезд со средним поперечником в 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, Ванден 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 (ЗК) в нашей Галактике стало ясно, что в М31 они выглядели бы в точности как группировки, описанные в этой галактике Ванден Бергом под названием ОВ-ассоциаций.

Представления о звездных комплексах, располагающихся в спиральных рукавах галактик, получили вскоре теоретическую поддержку в работах американского теоретика Б. Эльмегрена, который развивал представления о формировании в газовых дисках галактик под действием гравитационной неустойчивости сверхгигантских облаков с массами порядка 10 млн. солнеч-

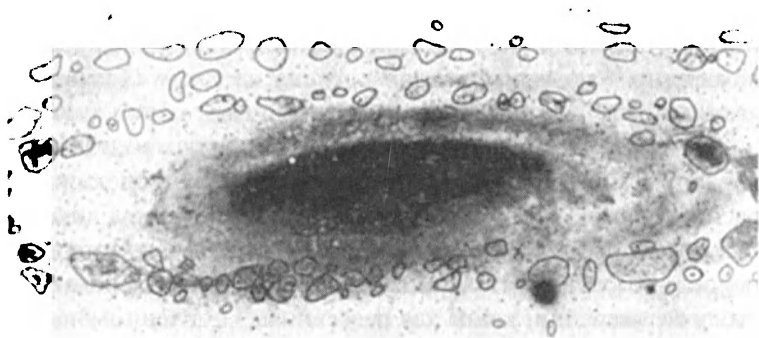


Рис. 3.5. Фотография галактики Андромеды (М31), на которой обозначены звездные ассоциации Ван ден Берга, т.е. звездные комплексы. Ярчайший из них, NGC 206 (справа) является сверхассоциацией.

ных масс и с размерами около 1 кпк. Такие облака должны образовываться быстрее, чем облака меньшей массы и особенно быстро — в пределах спиральных рукавов.

Надо сказать, что отдельные образцы сверхоблаков были известны и раньше, точно также как и немногочисленные сверхгигантские группировки *O*-звезд — сверхассоциации. Теперь же представлялось, что масштаб сверхоблаков—звездных комплексов является не только

наибольшим для областей звездообразования, но и повсеместным, наблюдающимся во всех дисковых галактиках.

Иногда говорили, что в представлениях о звездных комплексах нет особой новизны, поскольку равные им по размерам сверхассоциации давно уже 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 в 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

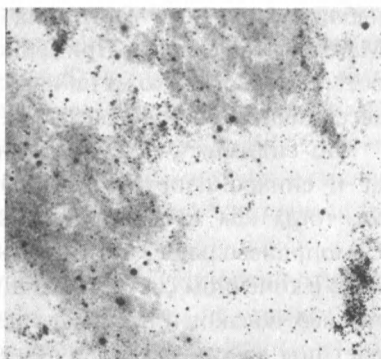


Рис. 3.6. Участок галактики Андромеды. Справа внизу находится сверхассоциация NGC 206, в середине — звездный комплекс и слева вверх — ОВ-ассоциация.

наблюдается близ восточной оконечности бара Большого Магелланова Облака. Примерно 100 миллионов лет назад она очевидно была похожа на находящуюся к северу от нее сверхассоциацию 30 Золотой Рыбки.

По-видимому, какая-то внешняя причина стимулирует и синхронизирует звездообразование в сверхассоциациях, тогда как в обычных комплексах оно идет спонтанно. Самопроизвольное, спонтанное звездообразование обусловлено в конечном счете гравитационным коллапсом — сжатием газовых облаков и превращением их в звезды. Коллапс наступает под действием различного рода нестабильностей в газовой межзвездной среде. Большое значение ранее придавалось тепловой и магнитно-гравитационной нестабильности, но последние исследования показывают, что спонтанное звездообразование в газовых дисках галактик определяется в основном сочетанием процессов гравитационной нестабильности в газе и его турбулентных движений. Сформировавшиеся в этих процессах более плотные облака дают начало молодым звездам, а затем молодые горячие звезды и взрывы сверхновых звезд 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.

Звездообразование, 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 находится внутри группировки 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.

Звездные комплексы — наибольшие группировки относительно молодых звезд, они слабо или совсем не связаны гравитационно и на форме наибольших и наиболее старых из них сказывается дифференциальное вращение галактик, угловая скорость которого увеличивается к центру; оно вытягивает комплексы в короткие обрывки спиральных рукавов. Именно такая хаотическая структура из коротких обрывков рукавов наблюдается у большинства из галактик, относимых к классу спиральных. У неправильных галактик концентрация массы к центру слабее, вращение ближе к твердотельному, поэтому в них и нет спиральной структуры, и округлые звездные комплексы хаотически разбросаны по галактике.

Сверхскопления и сверхассоциации

В некоторых галактиках недавно обнаружены объекты столь же массивные (до миллиона солнечных масс, а изредка и больше) и компактные, как шаровые скопления, но с возрастом лишь несколько миллионов лет. В этих галактиках, стало быть, и в наше время имеются условия, позволяющие формирование столь массивных объектов — условия, которые в нашей Галактике существовали лишь в самом начале ее формирования. Следовательно, изучая гигантские молодые скопления в других галактиках, мы можем реконструировать условия и события, происходившие в начале творения галактик. Вот эти гигантские массивные скопления, которые через десять миллиардов лет практически не будут отличаться от нынешних шаровых скоплений Галактики (если не потеряют

много своих членов в процессе динамической эволюции) — и стали называть сверхскоплениями. Логичное название «молодые шаровые скопления» не годится, ибо приводит к недоразумениям. В глазах специалистов по шаровым скоплениям «молодыми» считаются скопления с возрастом около 10 миллиардов лет...

Сверхскопления чаще всего находятся внутри звездных комплексов и сверхассоциаций. Хорошие примеры всех этих группировок известны в знаменитой галактике М51 — первой, у которой 150 лет назад была обнаружена спиральная структура.

В отличие от более старых комплексов, сверхассоциации содержат много ионизованного водорода (HII) и их часто называют гигантскими областями HII. Компактные голубые

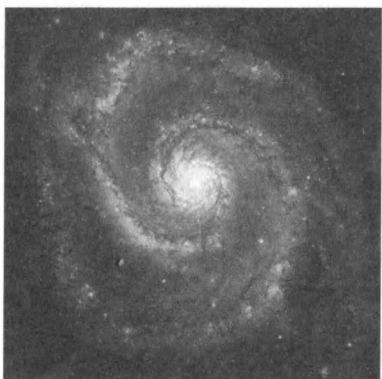


Рис. 3.7. Галактика М51 («Водоворот»), в спиральных ветвях которой видны звездные комплексы и сверхассоциации — гигантские области HII. В отличие от галактики М31, здесь комплексы расставлены вдоль спиральных рукавов не столь близко друг к другу.

(из-за присутствия многочисленных горячих звезд) галактики, содержащие много газа, также называют карликовыми HII галактиками. Иногда они неотличимы по своим размерам и спектральным свойствам от больших сверхассоциаций и часто рассматриваются как межгалактические сверхгигантские HII-области. Важное отличие состоит однако в том, что в этих галактиках почти всегда обнаруживаются признаки наличия старых звезд, с возрастом в несколько миллиардов лет.

Как вероятные реликты строительных блоков больших галактик, дожившие до

нашего времени в изоляции, компактные карликовые галактики привлекают все большее внимание. Обнаруживается, что они часто содержат массивные сверхскопления, которые, как

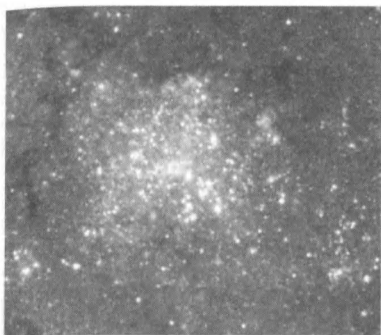


Рис. 3.8. Классический звездный комплекс на западе (справа) внутреннего спирального рукава M51, его диаметр около 600 пк. Комплекс содержит несколько звездных скоплений и ОВ-ассоциаций, окруженных облаками НII.

Столкновения газовых облаков при взаимодействии галактик являются вероятной причиной формирования сверхассоциаций и сверхскоплений, поскольку повышение плотности газа — необходимое условие формирования в нем звезд и скоплений. Особенно ярко это видно на примере гигантского комплекса, открытого недавно между почти соприкасающимися галактиками NGC 6621 и NGC 6622, который содержит около 40 молодых весьма массивных скоплений и обнаруживает собственное вращение. Именно такие

Рис. 3.9. Звездный комплекс на северо-востоке внутреннего рукава M51. Он богат ионизованным водородом и может считаться сверхассоциацией. В центре его видно сверхскопление, давление излучения которого очистило внутреннюю область комплекса от газа и пыли. Изображения на рис. 3.7, 3.8 и 3.9 получены на HST (hubblesite.org/gallery).

мы уже говорили, могут быть молодыми аналогами классических старых шаровых скоплений. Таким образом, эти галактики могут рассказать нам об условиях, имевшихся в формирующихся больших галактиках на самых ранних стадиях их эволюции.

Сверхскопления, как показали наблюдения с Хаббловским Космическим телескопом (HST), встречаются и еще в двух случаях — близ центра больших спиральных галактик и особенно часто — во взаимодействующих галактиках.



структуры и следовало бы называть звездными сверхскоплениями.

Интенсивное звездообразование близ центра галактик также часто связано с их взаимодействием, в процессе которого некоторые газовые облака теряют момент и оседают к центру. Падение быстрых облаков на диск галактики также приводит к повышению плотности газа и образованию областей активного синхронизированного звездообразования.

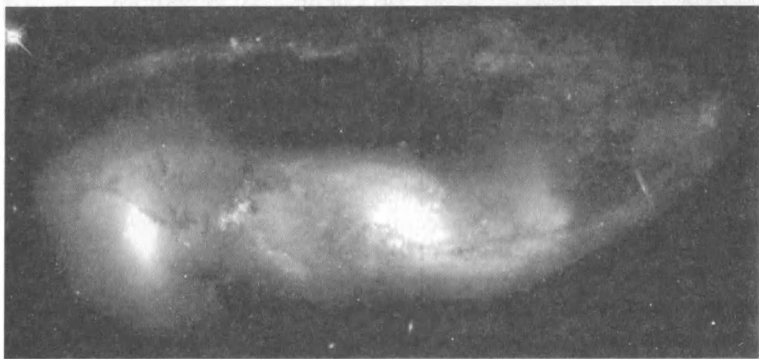


Рис. 3.10. Сталкивающиеся галактики NGC 6621 и 6622, между которыми находится комплекс, состоящий из примерно 40 богатых молодых скоплений.

Предположение о том, что массивные гравитационно связанные скопления образуются в условиях высокого давления окружающего газа (которое пропорционально квадрату плотности), было обосновано в работе Б. Эльмегрин и автора в 1997 г. Это давление может привести к сохранению гравитационной связанности скоплений и при наличии в нем О-звезд и сверхновых, в обычных условиях изгоняющих газ из формирующегося скопления, что приводит к его превращению в ассоциацию. Теория нашла подтверждение при изучении молодых массивных скоплений в спиральных галактиках, в первую очередь благодаря систематическому их поиску, проведенному С. Ларсеном и Т. Рихтлером в 21 галактике. Оказалось, что численность таких скоплений, нормированная к светимости

содержащей их галактики, возрастает с темпом звездообразования в ней. На продолжении этой зависимости находятся и сверхскопления, найденные во взаимодействующих галактиках. Воздействие многочисленных горячих звезд на газ создает в нем высокое давление, способствующее формированию сверхскоплений.

Однако далеко не всегда наличие в галактике молодого богатого скопления является простым статистическим следствием большого общего числа скоплений и высокого темпа звездообразования в галактике. Как уже говорилось, сверхскопления часто присутствуют в карликовых компактных голубых галактиках, в том числе и изолированных. О причинах этого продолжается дискуссия — это передний край проблемы образования скоплений, да пожалуй и галактик. Некоторые астрономы считают, что такие галактики испытали сближения с другими галактиками в прошлом, по мнению других около 70% компактных голубых галактик всегда были изолированными. Изолированные звездные комплексы внутри больших галактик и компактные голубые карликовые галактики иногда очень похожи морфологически (рис. 3.11 и рис. 3.12). Трудно сказать, случайно ли это сходство.

Весьма важное обстоятельство состоит в том, что эти галактики обычно окружены обширными коронами холодного ненаблюдаемого вещества (cold dark matter), масса которого в несколько раз больше массы звезд и газа галактики, и не исключено, что сверхскопления образуются при его



Рис. 3.11. Спиральная галактика NGC 6946, на юго-западе которой (близ правого края рисунка) находится изолированный звездный комплекс, содержащий сверхскопление с массой около миллиона солнечных.

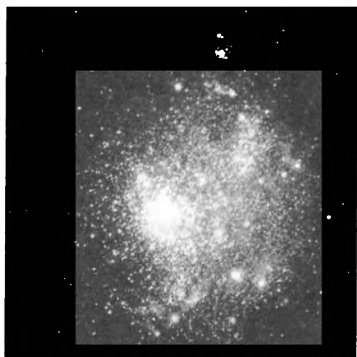
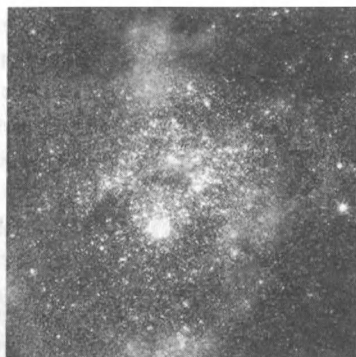


Рис. 3.12. Слева — изолированный звездный комплекс в NGC 6946, справа — компактная голубая карликовая галактика NGC 1705. Оба объекта имеют близкие размеры (около 600–800 пк) и оба содержат по сверхскоплению. Изображения получены на HST.

участии, в создаваемой его гравитацией глубокой потенциальной яме. Таинственная скрытая масса, составляющая почти 26% плотности энергии Вселенной, кажется, начинает играть активную роль и в астрономии видимого...

Глава 4. САМЫЕ ВАЖНЫЕ ЗВЕЗДЫ

Не устану воспевать вас, звезды!
Вечно вы таинственны и юны.
С детских лет я робко постигаю
Темных бездн сияющие руны.

Иван Бунин

Самыми интересными и самыми важными являются нестационарные звезды, изменяющие, иногда очень быстро, иногда медленно, а иногда и строго периодически, свой блеск и свои спектральные характеристики. Это тот случай, когда сама природа ставит для нас эксперимент, изменяя условия опыта.

Затменные переменные звезды являются двойными системами, в которых при каждом обороте вокруг центра тяжести системы один компонент затмевает другой. Они дают самый точный способ определения масс звезд (на основе 3-го закона Кеплера). У физических переменных звезд блеск изменяется вследствие каких-то процессов, происходящих на звезде — иногда губительных для нее. Мы расскажем о двух типах нестационарных звезд, наиболее полезных для изучения галактик — о цефеидах и о сверхновых звездах.

Сотни астрономов-специалистов и тысячи любителей исследуют переменные звезды. Одна только Американская ассоциация наблюдателей переменных звезд насчитывает свыше 2000 членов. Среди переменных звезд много уникальных объектов, находящихся на критических стадиях эволюции или составляющих двойные системы с компактными объектами. Вслед за любительскими наблюдениями, обнаруживающими интересные звезды, на них наводятся большие телескопы.

По поручению Международного Астрономического Союза, систематизацией и каталогизацией сведений

о переменных звездах с 1946 г. занимаются совместно астрономы Государственного Астрономического института им. П. К. Штернберга МГУ (ГАИШ) и Института астрономии РАН. Количество вновь открываемых переменных звезд растет в последнее десятилетие катастрофически быстро. В нашей Галактике и в Магеллановых Облаках их число уже перевалило за сотню тысяч. Это в основном побочный результат поисков явлений микролинзирования — кратковременного увеличения блеска звезды вследствие прохождения луча света от нее близ компактного объекта, вроде нейтронной звезды или черной дыры. Получить надежные оценки количества таких объектов пока не удалось, но зато были получены, например, точные измерения блеска для 2000 цефеид в Большом Магелановом Облаке.

Мне хочется здесь отметить, что в исследованиях и цефеид, и сверхновых звезд (а также и оптических компонентов рентгеновских двойных звезд) астрономы ГАИШ первыми, еще в 1950–70-х годах получили ряд первоклассных результатов, значимых и по сей день.

Светимости цефеид

В XVIII веке наблюдателей переменных звезд было лишь двое. Это были землевладелец из Йорка Пиготт и его друг, талантливый глухонемой юноша Джон Гудрайк, а наблюдали они семь известных тогда переменных, три из которых открыли сами. В 1783 г. Пиготт обнаружил изменяемость блеска η Орла с периодом в 7 дней, а в следующем году Гудрайк открыл переменность δ Цефея и нашел, что ее блеск возвращается к прежнему состоянию каждые 5 суток 8 часов 37 минут.

К началу нашего века было известно более тридцати звезд, похожих на эти, — блеск их изменялся в среднем на звездную величину с периодом от двух–трех до сорока дней. Звезды этого класса были названы цефеидами. Около ста лет назад Гарвардская обсерватория в США по инициативе Э. Пикеринга первой приступила к систематическому фотографированию

звездного неба, поискам и исследованию по этим пластинкам переменных звезд. Отделение этой обсерватории в Перу среди других работ занималось изучением Магеллановых Облаков, сияющих на южном небе как изолированные кусочки Млечного Пути.

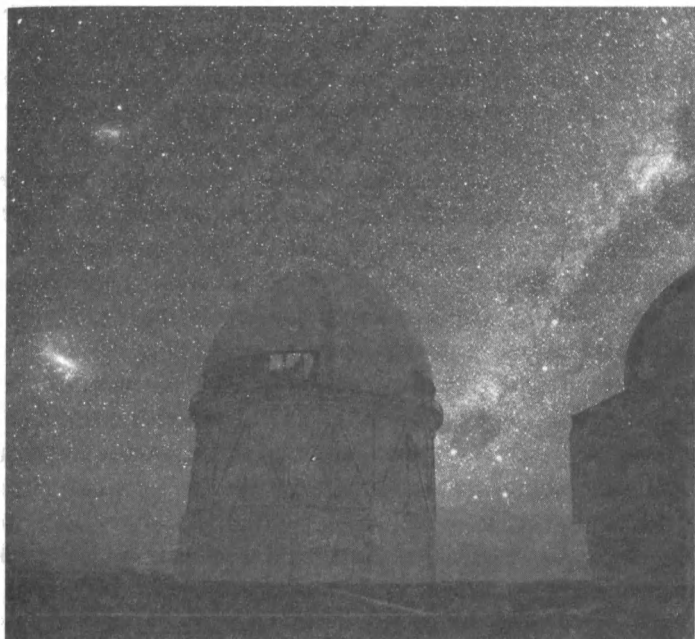


Рис. 4.1. Магеллановы Облака, Млечный Путь и башня 4-м рефлектора обсерватории Серро Тололо. Видны звезды Креста и Кентавра (ср. с рис. 2.2).

В 1908 г. Генриетта Ливитт опубликовала каталог 1777 переменных звезд, открытых ею в Малом Магеллановом Облаке по пластинкам, полученным в Перу с 1893 г. Для 16 из них она смогла определить периоды изменения блеска, которые оказались от 1 до 127 дней. «Стоит отметить, — писала мисс Ливитт, — что более яркие переменные имеют больший период». Эти слова отмечают начало пути, идя по которому, люди научились понимать язык звезд.

Через четыре года Ливитт имела уже периоды 25 звезд и сопоставила их на графике с блеском в максимуме и минимуме. Блеск цефеид оказался связанным с периодом линейной зависимостью, и мисс Ливитт заключила: «Так как эти переменные звезды, вероятно, находятся на одинаковом расстоянии от Земли, их периоды, очевидно, связаны с количеством излучаемого ими света» — т. е. со светимостью. Так появилась знаменитая зависимость период—светимость. По-видимому, Ливитт понимала значение своего открытия — достаточно было бы знать светимость хотя бы одной такой звезды, чтобы для любой звезды данного типа можно было бы определить по периоду светимость и, сравнивая ее с видимым блеском, найти расстояние. Именно поэтому Х. Шепли назвал цефеиды самыми важными звездами.

Блеск представителей этого класса переменных звезд изменяется со строгой периодичностью вследствие пульсации внешних слоев звезды. Период пульсации (почти всегда в пределах от двух до ста дней) определяется плотностью, а последняя — радиусом и массой, от которых зависит и светимость звезды. Чем больше светимость звезды, тем меньше ее плотность и больше период.

Теория пульсации цефеид, нашедшая наблюдательные подтверждения, была разработана С.А. Жевакиным в 50-е годы XX века. Она исходит из того, что клапанным механизмом, обеспечивающим включение и поддержание периодической пульсации внешних слоев звезды, является зона неполной ионизации гелия, параметры которой связаны с поверхностной температурой звезды и ее светимостью. Поэтому на диаграмме Г—Р цефеиды занимают узкую «полосу неустойчивости». Все цефеиды — звезды большой светимости (желтые сверхгиганты класса Ib) и поэтому доступны для наблюдений на больших расстояниях.

Зависимость между периодом и светимостью, обнаруженная Ливитт, много десятилетий переопределялась и уточнялась. До 1952 г. общеупотребительны были параметры зависимости П—С, которые получил Харлоу Шепли (1885—1972) в 1918 г.

Он исходил из светимостей переменных звезд в шаровых скоплениях, кривые блеска которых были похожи на цефеидные. Поэтому Шепли сделал неверный шаг, последствия которого более тридцати лет мучили астрономов: он счел, что светимость этих звезд такова же, что и у цефеид.

С середины 20-х годов размеры нашей Галактики, шкала расстояний во Вселенной и проблемы космологии оказались тесно связанными с нуль-пунктом зависимости период—светимость, т.е. со значением светимости, принимаемым для цефеид данного периода. Начались бесчисленные попытки уточнения светимости цефеид. Проблема состоит в том, что звезды высокой светимости, и цефеиды в том числе, немногочисленны, далеко отстоят друг от друга в пространстве, и даже ближайшие к Солнцу цефеиды (Полярная звезда и ζ Близнецов) столь далеки, что их параллаксы слишком малы, сравнимы с ошибками определения.

Зависимость период—светимость Шепли давно давала основания для беспокойства. Использование ее для определения расстояния галактики Андромеды приводило к тому, что светимость шаровых скоплений и новых звезд в ней оказывалась примерно на полторы звездной величины меньше, чем в Галактике. Сами размеры Галактики при этом оказывались существенно больше, чем у туманности Андромеды. Конечно, никто не мог доказать, что размеры и светимости должны быть одинаковыми, но гипотеза о близости характеристик объектов одного класса подтверждалась не раз. Вальтер Бааде со 100-дюймовым рефлектором обсерватории Маунт Вильсон тщетно пытался устранить расхождение улучшением шкалы звездных величин в туманности Андромеды.

Эти и другие указания на необходимость увеличения светимости цефеид не привлекали внимания до 1952 г., когда Вальтер Бааде объявил, что он не смог найти в М31 звезд типа RR Лиры (это переменные звезды, пульсирующие с периодом в доли дня) несмотря на использование 200-дюймового рефлектора. Более того, он даже и не пытался их искать — сразу же стало ясно, что это безнадежно. Ярчайшие красные гиганты,

типичные для шаровых скоплений, появились только близ предела пластинки у $22^m,8$. Из диаграммы цвет—светимость для шарового скопления М3, только что построенной Алланом Сендиджем по заданию Бааде, было видно, что эти звезды на $1^m,5$ ярче звезд типа RR Лиры. Модуль расстояния М31, определенный по цефеидам, составлял $22^m,7$, а по звездам типа RR Лиры он должен был быть, таким образом, $22^m,8 + 1^m,5 = 24^m,3$. Итак, не было другого выхода, как признать, что либо звезды типа RR Лиры слабее, либо же цефеиды ярче, чем это дает нуль-пункт Шепли. Бааде счел, что абсолютная величина звезд типа RR Лиры ближе к истине: их собственные движения больше, а поглощение света меньше на них влияет. Увеличение модуля расстояния М31 к тому же снимало различие в светимости шаровых скоплений и новых звезд Галактики и туманности Андромеды.

Вальтер Бааде выступил с этим сообщением на заседании Генеральной ассамблеи Международного Астрономического союза в августе 1952 г. Проблема стала общеизвестна и это помогло ее решению. В 1955 г. Джон Ирвин, занимаясь на Капской обсерватории фотометрией южных цефеид, заметил, что яркая цефеида S Наугольника окружена многочисленными голубыми звездами. Заглянув в звездный атлас, Ирвин увидел, что цефеида находится в рассеянном звездном скоплении NGC 6087. Вскоре, так же случайно, Ирвин обнаружил, что U Стрельца расположена в центре скопления М25.

Это была большая удача — методы определения расстояний рассеянных скоплений были уже достаточно надежны. Впрочем, еще в 1925 г. П. Дойг знал, что U Стрельца и S Наугольника находятся в рассеянных скоплениях, и предлагал определить их расстояние с помощью зависимости период—светимость... В 1955 г. более актуальной была обратная задача. (Скопление М25 — хороший телескопический объект летнего неба, на широтах Крыма и Кавказа. Яркая желтая цефеида, окруженная более слабыми голубыми звездами главной последовательности, являет прекрасную картину — особенно если сознаешь ее значение.)

В том же 1955 году в Москве П. Н. Холопов занимался скрупулезной работой сравнения положения на небе рассеянных скоплений и переменных звезд. И среди многих случаев попадания переменной звезды в скопление он особо отметил десяток цефеид. Проанализировав скудные тогда данные об этих цефеидах и скоплениях (фотоэлектрическая фотометрия только начиналась), Холопов пришел к выводу, что многие из этих цефеид могут быть физическими членами скоплений. В начале 1956 г. он сдал в печать большую статью с анализом связи переменных звезд и скоплений. И в том же году появилась заметка Ирвина, а в следующем — сообщения Крафта и Ван ден Берга. Крафт сравнивал координаты скоплений и цефеид, а Ван ден Берг искал скопления вокруг цефеид на фотографиях Паломарского атласа неба. Большинство найденных ими в скоплениях цефеид уже были в списке Холопова, а его статья все еще была в печати и вышла лишь в 1958 г.

Авторитет Шепли был одной из причин задержки на 30 лет исследований связи цефеид со скоплениями. Он отмечал, что в Магеллановых Облаках цефеиды избегают рассеянные скопления — однако это были не скопления, а звездные ассоциации, слишком молодые для того, чтобы их звезды успели проэволюционировать в цефеиды.

Точные светимости цефеид удалось определить лишь в 1960—70 гг. именно при изучении рассеянных звездных скоплений, содержащих цефеиды. Эти скопления, как и цефеиды, принадлежат к населению диска Галактики; их расстояния уверенно определяются по диаграмме Г—Р. Вывод Бааде о необходимости сделать цефеиды на полторы величины ярче, чем давал Шепли, в целом был подтвержден.

Таким образом, проблема светимости цефеид стала проблемой шкалы расстояний рассеянных скоплений. К сожалению, астрометрический спутник Гиппаркос не сумел дать окончательный ответ на вопрос о нуль-пункте зависимости период—светимость. Разные авторы, используя различающиеся методы учета ошибок определений годовых параллаксов с помощью этого спутника, получали заметно расходящиеся результаты.

Новые перспективы открывает начинающееся применение интерферометрических методов. Для нескольких звезд с помощью оптических интерферометров на больших телескопах уже можно воочию наблюдать изменения углового диаметра и, сопоставляя с изменениями лучевых скоростей и блеска, оценить расстояние, хотя и здесь еще много подводных камней. Используя этот метод, Т. Нордгрэн и др. в 2000 г. получили для δ Цефея расстояние 262 ± 6 пк, а тригонометрический параллакс по данным спутника Гиппаркоса и лучших наземных измерений дает $278 (+48/-35)$ пк.

Результаты не слишком радуют. Исследователи цефеид сражаются с гидрой, у которой на месте отрубленной головы вырастает новая. Однако возможная ошибка составляет теперь не $1^m,5$, как было обнаружено в 1952 г., а не более $0^m,2$.

Эволюция цефеид

Хочется отметить, что две (а точнее три) самые трудные цефеиды в скоплениях были впервые изучены в ГАИШе в 1965–67 гг. П. Н. Холоповым и автором. Это SE Кассиопеи в скоплении NGC 7790 (содержащем и еще одну цефеиду, CF Кассиопеи), двойная звезда, каждый компонент которой является цефеидой, а также V367 Щита в скоплении NGC 6449, которая пульсирует, как мы обнаружили, с двумя периодами одновременно — победив американских астрономов в споре

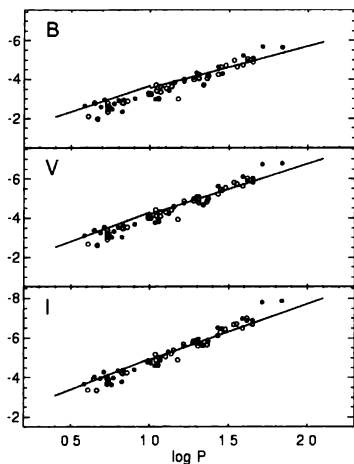


Рис. 4.2. Зависимость период—светимость для цефеид Галактики (кружки) и БМО (прямая линия) в трех спектральных диапазонах. По работе А. Сэндиджа, Г. Тамманна и Б. Рейндла, 2003.

о ее природе. Расстояние между компонентами СЕ Кассиопеи составляет всего 2,3" — и все же мы сумели измерить блеск каждого из них в отдельности по пластинкам, полученным на 70-сантиметровом рефлекторе на Ленинских горах в Москве, опять же опередив на несколько лет американских астрономов А. Сендиджа и Г. Таммана, работавших на крупнейшем тогда в мире 508-сантиметровом рефлекторе на Голубиной горе (Маунт Паломар) в Калифорнии. Заметим, что и сама переменность блеска СЕ Кассиопеи была расшифрована сотрудницей ГАИШ — Г. А. Старикова, наблюдая в 50-х годах визуально эту «неправильную» переменную в Абастуманской обсерватории, обнаружила, что это двойная звезда, каждый компонент которой является цефеидой.

На какой же стадии эволюции находятся цефеиды? И. М. Копылов (1928–2000), работавший тогда в Крымской обсерватории, к 1964 г. оценил массы цефеид в 3–15 солнечных и получил убедительные доводы в пользу предположения, что они являются потомками *B*-звезд, покинувшими главную последовательность. В 1965 г. теоретики пришли к выводу, что у звезд с массами более 3–4 масс Солнца эволюционные треки описывают петли, неоднократно пересекая полосу неустойчивости на диаграмме Г—Р, в пределах которой находится ряд пульсирующих переменных звезд, и в частности, цефеиды (см. рис. 3.4). Решающую роль в признании этой теории сыграли исследования молодого богатого скопления NGC 1866 в БМО. Диаграмма скопления, полученная в 1967 г. Х. Арпом и А. Теккереем, подтвердила его молодость, заподозренную ранее В. Бааде, и показала, что цефеиды занимают левый конец ветви сверхгигантов. Этот левый конец зашел в пределы полосы неустойчивости — и все звезды, попавшие в нее, обязаны пульсировать. Здесь имеется полная аналогия с горизонтальной ветвью шаровых скоплений: середину ее пересекает полоса неустойчивости, и все звезды на этом участке ветви являются переменными типа RR Лиры.

Любопытно, что довольно бедное скопление NGC 7790 содержит целых три цефеиды — единственный такой случай в

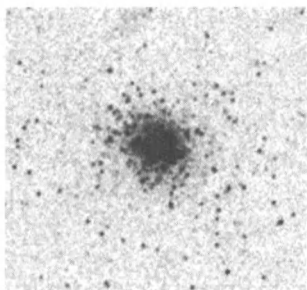


Рис. 4.3. Богатое относительно молодое скопление NGC 1866 в БМО.

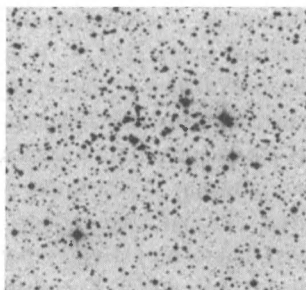


Рис. 4.4. Рассеянное скопление NGC 7790 в Кассиопее. Сравнение с рис. 4.3 показывает его бедность.

нашей Галактике, и он нуждается в объяснении. Периоды этих цефеид (около 5 дней) близки к наиболее часто встречающемуся в Галактике значению, само наличие которого объясняется, очевидно, тем, что при соответствующих массах и возрастах цефеидная стадия эволюции звезды является наиболее продолжительной. Дело, по-видимому, в том, что возраст NGC 7790 как раз таков, что именно участки эволюционных треков, соответствующие более медленной эволюции, находятся в пределах полосы неустойчивости на диаграмме Г—Р.

Следует обратить внимание и на ничтожную вероятность случайности того обстоятельства, что две ярчайшие звезды скопления составляют двойную систему цефеид, да к тому же с близкими периодами. Это означает, что возраст и массы обоих компонентов весьма близки, и этот факт может быть важным для понимания процесса звездообразования в скоплениях.

Цефеиды подчиняются фундаментальным соотношениям период—плотность $P\rho^{1/2} = Q$, где P — период, ρ — плотность, а Q — так называемая постоянная пульсации, и масса—светимость, хотя той же массе цефеид соответствует существенно большая светимость, чем у звезд главной последовательности (это видно и по эволюционному треку на рис. 4.5). Из этих соотношений получается зависимость период—светимость (период больше у менее плотных звезд большой светимости)

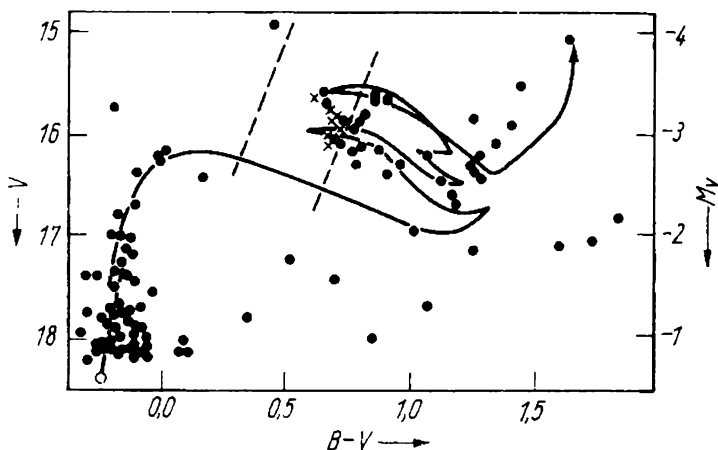


Рис. 4.5. Диаграмма цвет—величина для NGC 1866. Показан эволюционный трек для звезды с массой в 5 солнечных. Крестики — цефеиды, пунктир — границы полосы неустойчивости.

и зависимость период—возраст (период меньше, а возраст больше у более плотных звезд меньшей массы, дольше живущих на главной последовательности и поэтому более старых на стадии цефеид). Наблюдательные признаки существования зависимости период—возраст впервые были получены автором в 1964 г. по данным о 12 цефеидах, связанных со звездными скоплениями в Галактике; наши результаты 2003 г., основанные на многочисленных цефеидах в скоплениях БМО, показаны на рис. 4.6.

Наблюдательная и теоретическая зависимости период—возраст хорошо согласуются друг с другом, что является важным подтверждением правильности наших представлений об эволюции массивных звезд.

Цефеиды дают и уникальную возможность увидеть воочию эволюционные изменения характеристик звезды. При движении звезды по диаграмме Г—Р направо ее плотность уменьшается и период увеличивается, налево — период уменьшается. Изменяемость периодов цефеид известна давно, но обычно

приписывалась случайным вариациям параметров звезды. Однако несколько лет назад Л. Н. Бердников в ГАИШе сумел доказать, что во многих случаях быстрые хаотические изменения периодов накладываются на медленные вековые изменения одного знака, причем скорость этих изменений периода соответствует предсказанным теорией. Это единственный пример поддающегося непосредственным наблюдениям изменения параметров звезды, обусловленного ее «нормальной» эволюцией (конечно, взрыв сверхновой также обусловлен эволюцией звезды, но это ее конец).

Этот результат дает ответ на часто задаваемый вопрос — зачем же наблюдать снова и снова одни и те же звезды. Имеют смысл даже наблюдения ярчайших цефеид невооруженным глазом — они позволяют определить новые моменты максимумов блеска и следить за изменяемостью периода. Вот только не надо говорить об изменяемости периодов, сравнивая их значения, определенные в разные эпохи, как это иногда делают (и публикуют) новички — надо изучать накапливающееся со временем отличие наблюденных моментов максимума от вычисленного с данным периодом. К настоящему моменту астрономами ГАИШ, в первую очередь Л. Н. Бердниковым и А. С. Расторгуевым, получено более половины всех наблюдений блеска и лучевых скоростей цефеид, существующих в мире.

Ярчайшие цефеиды имеют светимость около -7^m в желтых лучах и периоды около 100 дней (см. рис. 4.2). Космическому телескопу имени Хаббла они доступны вплоть до расстояний около 100 Мпк. Измерение расстояний далеких галактик

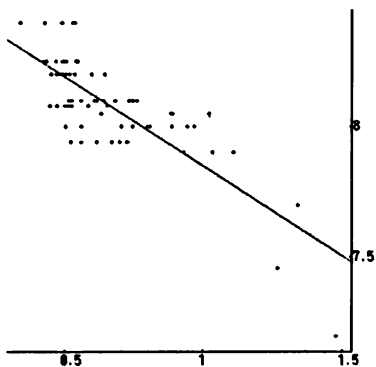


Рис. 4.6. Зависимость период–возраст для цефеид в скоплениях БМО. По работе Ю. Н. Ефремова, 2003.

по цефеидам являлось одной из ключевых программ этого телескопа, позволившей существенно уточнить постоянную Хаббла, определяющую скорость расширения Вселенной. Однако в последние годы эта роль перешла к сверхновым звездам, которые позволяют уйти намного дальше.

Сверхновые

Время от времени на небе возгораются новые звезды. Они светят несколько недель, иногда месяцев, тускнеют и исчезают. Давно уже ясно, что звезды эти не новы, это вспышка уже существовавшей звезды. Такие временные звезды стали с начала XX века обнаруживаться и в других галактиках. Еще в 1885 г. новая звезда наблюдалась близ центра туманности Андромеды, и когда светимость новых звезд в окрестностях Солнца была определена, по блеску Новой 1885 г. было найдено расстояние туманности — всего лишь 500 пк. Лишь с началом систематического фотографирования близких галактик на больших телескопах выяснилось, что наблюдаются и такие вспышки, в максимуме которых светимость звезды на 10 и больше величин выше, чем у подавляющего большинства новых звезд. Она достигает абсолютной величины -18^m и изредка даже ярче.

К этому типу относилась и звезда, вспыхнувшая в 1885 г. в туманности Андромеды (рис. 4.7).

В. Бааде и Ф. Цвикки в 1934 г. выделили такие объекты в особый класс, назвали их сверхновыми и первыми предположили, что после вспышки сверхновые превращаются в сверхплотные тела — нейтронные звезды чудовищной плотности и очень небольших размеров. Несколько позже физики Ландау, Оппенгеймер, Волков теоретически подтвердили возможность существования нейтронных звезд. Поэтому, встречая какие-либо пекулярные объекты, астрономы более тридцати лет пытались, прежде всего, отождествить их с предсказанными теорией нейтронными звездами.

Ими оказались пульсары, неожиданно открытые в 1967 г. Руководитель работы английский радиоастроном Э. Хьюиш



Рис. 4.7. Сверхновая звезда, вспыхнувшая в 1994 г. в галактике NGC 4526. Изображение получено на Космическом телескопе имени Хаббла (HST).

получил за это Нобелевскую премию. Однако аспирантка Дж. Белл, которая и заметила на регистрограммах радиотелескопа короткие всплески, повторяющиеся через немногие секунды и доли секунд, этой чести не была удостоена, и злые языки стали говорить, что Хьюиш получил премию Ноу-белл... Говорят также, что великий астрофизик Фред Хойл так и не получил Нобелевской премии именно из-за его статьи с протестом против такого решения Нобелевского комитета.

Никто не ожидал найти столь правильно (пульсары скоро стали самыми точными астрономическими часами) и быстро вспыхивающие объекты. Открытие стало возможным потому, что Хьюиш поставил задачу изучения очень быстрых колебаний потока — своего рода мерцания — радиоисточников, возникающих вследствие прохождения радиолуча через флуктуации плотности околосолнечной межзвездной среды. Для этой цели и была впервые создана аппаратура, способная заметить очень быстрые колебания радиопотока. В течение полугода

обнаружение пульсаров держалось в строгом секрете. Явление пульсара всерьез приписывалось внеземным цивилизациям — столь неестественно строго выдерживалась периодичность радиоимпульсов.

Однако уже в 1968 г. периодические всплески в радиодиапазоне с интервалом в немногие секунды и доли секунд, и другие характеристики пульсаров объяснились вращением сверхплотного тела очень небольших размеров, все параметры которого соответствовали предсказанным у нейтронных звезд. Исключение составляло мощное направленное радиоизлучение, вырывающееся из магнитных полюсов звезды, не совпадающих с полюсами вращения. Только это свойство отсутствовало в модели нейтронной звезды, предложенной Н. С. Кардашевым (тогда еще работавшем в ГАИШе) для объяснения особенностей Крабовидной туманности — за несколько лет до открытия пульсаров.



Рис. 4.8. Крабовидная туманность в оптическом диапазоне.



Рис. 4.9. Крабовидная туманность в рентгеновском диапазоне.

Обнаружение вспышек и в оптическом диапазоне у голубой звезды 16^m в центре Крабовидной туманности (которую Бааде и Минковский еще в 1942 г. считали остатком вспышки Сверхновой 1054 г.) окончательно доказало, что пульсары действительно являются остатком вспышек сверхновых звезд. Звезда в центре «Краба» вспыхивает каждые три сотые доли секунды (немножко пореже), и ее миганье можно было бы

заметить и глазом (в телескоп, конечно)! Наблюдения в рентгеновском диапазоне на космическом телескопе «Чандра» показали весьма сложную картину — джет, истекающий из пульсара, перпендикулярный ему диск, окружающая туманность, и все это дышит, изменяется со временем (рис. 4.9).

В китайских летописях, помимо «звезды-госты» 1054 г., оставившей после себя Крабовидную туманность, зарегистрирован еще десяток ярких временных звезд; почти для всех из них можно указать характерную расширяющуюся туманность, оставшуюся после вспышки сверхновой. Наблюдать же сами вспышки в нашей Галактике астрономам удалось лишь дважды — это были Тихо Браге в 1572 г. и его ученик и сотрудник Кеплер в 1604 г. Они могли лишь описать изменения блеска этих звезд и определить координаты, по которым и были найдены туманности — реликты этих вспышек. И это все! Прошло четыре века — и больше ни одной сверхновой в нашей Галактике, ни в оптическом, ни в радио, ни в нейтринном излучении. Почему судьба подарила по сверхновой именно основоположникам новой астрономии — и никому больше?..

Не вникая в детали, можно сказать, что сверхновые делятся на I и II тип; классификация основана на спектральных характеристиках и отчасти форме кривых блеска. Сверхновые II типа показывают набор линий многих элементов, особенно водорода, положение которых говорит о быстром расширении оболочки звезды. Расширение обнаруживают и спектры сверхновых I типа, которые несколько десятилетий оставались загадочными, пока Ю. П. Псковский в ГАИШе не доказал, что широкие «полосы» в их спектрах на самом деле являются участками непрерывного спектра и что линии водорода в спектрах SNI отсутствуют. Эти сверхновые вспыхивают в галактиках всех типов, тогда как SNI никогда не вспыхивают в эллиптических галактиках. Поскольку эти галактики состоят только из старых маломассивных звезд населения II, сразу же можно сделать вывод, что SNI происходят из массивных короткоживущих звезд. Действительно, современная теория говорит, что каждая звезда с массой, превышающей 7–8 солнечных, после

истощения ядерного горючего должна вспыхнуть как сверхновая и затем катастрофически сжаться в черную дыру или нейтронную звезду.

Кривые блеска у сверхновых II типа самые разные, тогда как у SNI весьма похожи друг на друга. Более того, накапливалось все больше данных о том, что у сверхновых подтипа Ia и светимости в максимуме блеска близки. Это стало очевидным после того, как Ю. П. Псковский показал, что светимость связана со скоростью падения блеска — это позволило определить блеск в максимуме для многих сверхновых, открытых после максимума.

Схожесть характеристик сверхновых Ia была объяснена тем, что вспышки их происходят в тесных двойных системах, один из компонентов которых является белым карликом, аккрецирующим вещество от второго члена системы. Масса этого карлика медленно растет вследствие аккреции, но она не может превосходить предельно большого для белого карлика значения в 1,4 солнечных. Когда этот предел достигается, происходит взрыв и остаток звезды становится, по-видимому, нейтронной звездой. (Не потому ли и похожи характеристики нейтронных звезд — и тогда большинство из них надо считать именно результатом такой эволюции тесных двойных систем.) Понятно, что схожесть характеристик взрывов сверхновых Ia определяется одинаковостью масс их прогениторов и может лишь слабо зависеть от предыстории двойной системы (от различий химического состава и скорости вращения?) и уж вряд ли зависит от ее возраста. У белых карликов водород давно выгорел, потому его линии и отсутствуют в спектрах SNIa.

В последние десять лет сверхновые этого типа стали играть ту же роль в определении межгалактических расстояний, которая еще недавно принадлежала цефеидам — с тем существенным отличием, что SNIa в максимуме блеска ярче на 10–12 величин и позволяют продвинуться на расстояния в десятки тысяч раз большие. Благодаря именно сверхновым Ia в конце XX века начались революционные события в космологии, о чем рассказывается в главе 11.

Ныне открывают за год десятки сверхновых. Несколько сверхновых наблюдалось в последние годы и в близких галактиках. В Большом Магеллановом Облаке, на западной окраине молодого звездного комплекса 30 Золотой Рыбы, вспыхнула первая со времен Кеплера Сверхновая, видимая невооруженным глазом; это случилось 23 февраля 1987 г. Звезда, обозначенная как SN1987A, была замечена сначала просто глазом и в ту же ночь на фотопластинках — она была 5-й величины и ее блеск затем возрос к концу марта до 3-й величины. Первой задачей было установить, какой объект вспыхнул как Сверхновая. Несколько групп (в том числе и наша в ГАИШе) одновременно пришли к выводу, что она сияет на месте голубого сверхгиганта Sk-69° 202, звезды 12-й величины. Этот сверхгигант указан стрелкой на рис. 4.10, который можно сравнить с рис. 4.11.

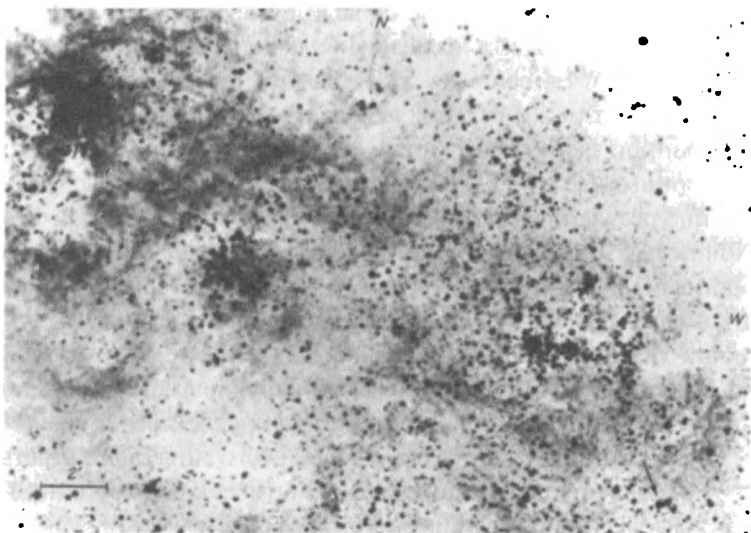


Рис. 4.10. Участок Большого Магелланова Облака. Слева сверху — туманность Тарантул, справа внизу стрелка указывает голубой сверхгигант, которому предстояло вспыхнуть в 1987 г. Две «звезды» справа от него — слившиеся изображения звезд рассеянного скопления, на окраине которого располагается Сверхновая.

Это было неприятным сюрпризом для теоретиков, которые ожидали, что Сверхновые II типа (о принадлежности к которому говорил спектр) возникают из массивных красных сверхгигантов или звезд Вольфа—Райе.

Правильность отождествления была, однако, вскоре доказана — после ослабления блеска Сверхновой спектр сверхгиганта В3I так

и не стал виден. Очень странно смотреть на старые фотографии и сознавать, что вот этой звезды уже нет.

Позднее мы обратили внимание на небольшую компактную группу звезд рядом со Сверхновой — она оказалась в подробном каталоге звездных скоплений БМО, составленном М. Контизас и ее сотрудниками. В другой публикации содержались фотометрические данные для области Сверхновой, в том числе и для звезд этого скопления, существование которого не было, однако замечено авторами статьи. По этим данным мы построили диаграмму цвет—величина, которая выглядела вполне нормально для скопления с возрастом около 12 млн. лет; нормальным было и положение на этой диаграмме взорвавшегося сверхгиганта. Итак, прогенитор Сверхновой находился в короне бедного скопления и был его самой массивной звездой. Изучая звезды этого скопления, можно точно установить химический состав исчезнувшей ныне звезды, и странно, что этого до сих пор не сделано.

Признаков рождения пульсара в оставшемся после вспышки звездном объекте нет (пока?); точнее говоря, такого объекта не видно, нет и признаков черной дыры — похоже, что звезда исчезла бесследно. Некоторым утешением может быть возможность того, что вокруг бывшей сверхновой сейчас плотное



Рис. 4.11. Сверхновая 1987А через несколько лет после вспышки (в центре изображения). Вблизи нее и справа — звезды скопления. Изображение получено на HST.

облако пыли. Сейчас она окружена газовым колечком; над ним и под ним — еще два кольца (см. рис. 4.11). Природа их также неясна. Можно предположить, что это результат воздействия прецессирующих джетов, бьющих из оставшегося после вспышки объекта, на околовзвездные облака газа.

Гамма-всплески

С 1967 по 1973 г. кратковременные вспышки гамма-излучения составляли глубокий секрет Национальной обсерватории Лос Аламос (США). Сотрудники обсерватории регистрировали вспышки с помощью системы четырех спутников «Вела» (от испанского слова *velar*, быть на страже), предназначенной для регистрации ядерных взрывов. Их задачей было следить, не нарушается ли соглашение о запрещении этих взрывов в воздухе и космосе. Довольно скоро было установлено, что вспышки приходят из космоса, и наконец, в 1973 г. побывавший с визитом в Лос Аламосе известный физик Ф. Дайсон сказал своим коллегам, что даже Советам не под силу почти каждый день выводить в космос ракеты с водородными бомбами — надо публиковать сообщение о явлении.

Объяснить наблюдения было нелегко. Кратковременность явления (от долей до сотен секунд) указывала, что источником гамма-лучей являются очень компактные объекты, такие как нейтронные звезды. Отсутствие концентрации к плоскости, или к центру Галактики, или же к близким галактикам оставляло только две возможности — либо они очень близко от нас, не дальше ближайших звезд, либо же очень далеко — и тогда это очень редкие явления в далеких галактиках. Главная трудность состояла в том, что гамма-вспышки ни в каком другом диапазоне спектра не обнаруживались. Напомним, что обнаружение оптических вспышек с тем же периодом, что и в радиодиапазоне, у звезды, подозревавшейся в том, что она является остатком вспышки сверхновой, окончательно установило природу пульсаров. Она стала ясна через несколько месяцев после их открытия. Гамма-всплескам пришлось ждать тридцать лет.

Почти все гипотезы стали достоянием истории весной 1997 года. В конце февраля Итальяно-Голландский спутник ВерроSAX зарегистрировал гамма-вспышку GRB970228 (*Gamma-ray burst* 28 февраля 1997), на месте которой был обнаружен угасающий рентгеновский источник. Это позволило определить точные координаты, по которым на месте гамма-вспышки была найдена слабая галактика. Затем было обнаружено оптическое «послесвечение» у всплеска GRB970508 — и слабая галактика на его месте, у которой удалось измерить красное смещение линий в спектре, оказавшееся равным $z=0,835$. Это дает гигантское, «космологическое», как часто говорят, расстояние.

Ныне «послесвечение» наблюдается у трех десятков гамма-всплесков и уже нет сомнений в том, что они приходят с весьма далеких расстояний, в пределах которых достаточно много галактик — поэтому вспышки и наблюдаются столь часто. Это означало бы чудовищные энергии вспышек, до 10^{53} – 10^{54} эрг, как у сотен и тысяч сверхновых звезд, вспыхнувших одновременно — если бы эта энергия излучалась изотропно, как у сверхновых. Предположение о том, что на самом деле она как у пульсаров, излучается в узком пучке, набирало все больше сторонников и сейчас практически общепринято — если это так, то энергию излучения нужно уменьшить пропорционально раствору конуса излучения. Она становится вполне сравнимой с энергией сверхновых, и большинство исследователей сейчас полагают, что явление гамма-вспышки происходит на самых ранних стадиях развития вспышки необычных, скорее всего очень ярких сверхновых, рождающихся из очень массивных звезд.

Это предположение подтверждается тем, что на месте многих гамма-всплесков были найдены галактики с активным звездообразованием (и значит большим количеством массивных звезд), а также тем, что в кривых блеска нескольких гамма-всплесков найдены особенности, позволяющие утверждать, что наблюдается и вклад обычных кривых блеска сверхновых. Первоначальное предположение, что короткая

вспышка гамма-излучения наблюдается при слиянии компонентов двойной системы из нейтронных звезд или из нейтронной звезды и черной дыры, теряет популярность.

Необходимо, однако, сказать, что до мая 2005 г. все гамма-всплески, «послесвечения» которых удалось наблюдать, относились к длившимся более секунды. 9 мая 2005 г. рентгеновское излучение было замечено от гамма-всплеска, длившегося всего лишь три сотых секунды. Никаких признаков сверхновой на этом месте до сих пор (13 июня 2005 г.) не наблюдается, но зато рядом найдена эллиптическая галактика, в которой массивных звезд быть не может.

По крайней мере, в этом случае старая гипотеза о возникновении гамма-всплеска в результате слияния двух нейтронных звезд или нейтронной звезды и черной дыры наверняка справедлива.

Глава 5. ОТКРЫТИЕ ГАЛАКТИКИ — ОТКРЫТИЕ ВСЕЛЕННОЙ

В два—три столетия был преобразен
Весь старый мир: разрушен и отстроен.
На миллионы световых годов
Раздвинута темница мироздания,
Хрустальный свод расколот на куски,
И небеса проветрены от Бога.

Максимилиан Волошин

Вселенная Каптейна и Млечный Путь Шепли

В 1921 г. известный голландский астроном Якоб Каптейн посетил в Бонне своего друга, астрометриста и исследователя звездных скоплений Ф. Кюстнера, и поделился с ним своими соображениями о строении звездной 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 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!»

Предложенная Каптейном схема строения Млечного Пути (часто называемая Вселенной Каптейна), представляла собой двояковыпуклую линзу диаметром около 20 000 пк, от центра которой на расстоянии всего 650 пк находилось Солнце. Последняя 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... Что может сравниться с трагедией ученого,

который после десятилетий неукротимого стремления к знанию создает, наконец, цельную картину мироздания, но тут же замечает появление другой точки зрения, и видит, как она приобретает все новых сторонников. Вспомним о Лоренце, который жалел, что не умер прежде, чем появилась квантовая механика. А ведь такова судьба каждого конкретного достижения науки, каждого ученого. Проходит какой-нибудь десяток лет, и его работа остается интересной, в лучшем случае, лишь для историков науки, — но из ее праха вырастает новое знание. Среднее время жизни хорошей научной статьи, в течение которого на нее встречаются ссылки в литературе, — около десяти лет. В научных журналах не найти теперь ссылок на Ньютона или Лапласа, разве что в исторических обзорах. И очень редко уже встречаются имена Каптейна и даже Шепли или Бааде. Их работы легли кирпичиками в здание, которое никому не суждено увидеть завершенным...

Система Млечного Пути, по мнению Каптейна, охватывала всю Вселенную, и ее чертеж был построен им в принципе таким же методом, как и «Вселенная Гершеля», на которую она похожа. Это были подсчеты звезд в разных направлениях и определение с их помощью пространственной плотности звезд на разных расстояниях от Солнца. В отличие от Гершеля, Каптейн уже учитывал, что звезды могут быть разной светимости. Расстояния, очень грубые, он находил по статистической зависимости между параллаксом, видимой величиной и собственным движением.

Представления о строении системы Млечного Пути, развиваемые Харлоу Шепли, были основаны на данных о шаровых скоплениях. В серии работ 1916–1919 гг. он пришел к выводу, что находящийся в направлении созвездия Стрельца центр сфероидальной системы шаровых скоплений есть одновременно и центр дискообразной звездной системы. Не случайно там же видны самые яркие облака Млечного Пути. Симметричное распределение скоплений вокруг плоскости Млечного Пути убеждало Шепли в этом. Концентрацию шаровых скоплений в Стрельце (где на 2% площади небесной сферы находится треть

всех скоплений) Шепли объяснил повышением пространственной плотности скоплений к центру системы и тем, что Солнце находится от этого центра очень далеко. Насколько далеко — ответ дали цефеиды.

Мы знаем сейчас, что переменные звезды с периодом в 2—30 дней в шаровых скоплениях — не цефеиды, точнее говоря, совершенно особая разновидность цефеид. Но Шепли применил к ним зависимость период—светимость и обнаружил, что светимость переменных звезд типа RR Лиры во всех скоплениях одинакова и составляет около 0^m . По этим звездам он смог найти расстояния для десятка скоплений. Далее Шепли заметил, что разность видимых величин звезд типа RR Лиры и ярчайших красных звезд шаровых скоплений мало изменяется от скопления к скоплению и составляет в среднем полторы—две звездные величины. Теперь достаточно было измерить блеск ярчайших звезд шарового скопления, чтобы определить его расстояние. Таким образом Шепли определил положение в пространстве семи десятков шаровых скоплений. Расстояния их казались огромными; ближайшее шаровое скопление все еще было много дальше самого далекого рассеянного скопления. Расстояние Солнца до центра системы шаровых скоплений, т. е. до центра системы Млечного Пути, Шепли определил в 50 000 световых лет, а вся система простиралась на 300 000 световых лет. Солнце оказалось не в центре мироздания, а на его окраине.

Цефеиды шаровых скоплений имеют другое происхождение, другую массу и другую светимость, чем классические цефеиды галактического поля или рассеянных скоплений. Мы знаем теперь, что они слабее их примерно на $1^m,5$. Но приблизительно на столько же ошибся Шепли в оценке светимости классических цефеид, занизив ее. Принятые им светимости цефеид шаровых скоплений и звезд типа RR Лиры ошибочны не более чем на $0^m,5$. Это совпадение долго маскировало ошибочность нуля-пункта зависимости период—светимость. Получая каждый раз для звезд RR Лиры светимость в $0^m,0$, исследователь приходил к выводу, что нуль-пункт

Шепли хорош, и полученные им светимости цефеид верны. Существование двух родов цефеид стало доказанным только после работ В. Бааде и Б. В. Кукаркина в 1944—1952 гг.

Великий спор-1

Таким образом, еще в начале 20-х гг. конкурировали две системы мироздания. По Шепли, в нашей гигантской Галактике, системе Млечного пути, Солнце помещалось на окраине, а еще дальше были «слабые туманности». Вселенная Каптейна содержала Солнце близ центра и была намного меньше. О том, что же находится за пределами системы Млечного Пути, обе схемы мироздания поразительным образом умалчивали, хотя некоторые астрономы были убеждены (как и Гершель в XVIII веке!), что многочисленные слабые туманности являются огромными звездными системами, сравнимыми с нашей, и что спиральные туманности Андромеды (М31) и Треугольника (М33) — лишь ближайшие из них.

26 апреля 1920 г., в Национальной Академии наук в Вашингтоне состоялся диспут, который известен в истории астрономии как «великий спор» Харлоу Шепли и Гебера Кертиса. Обе стороны соглашались с тем, что характеристики (и прежде всего светимость) звезд одного класса повсюду во Вселенной одинаковы. Но какие звезды можно считать принадлежащими к одному классу? Отражаются ли на их светимости некоторые различия характеристик цефеид в разных галактиках?

Ответ на такого рода вопросы неясен и поныне, его могут дать только детальные исследования. В первой части диспута в центре внимания были оценки расстояния наиболее хорошо изученного шарового скопления М13 в созвездии Геркулеса. Шепли оценивал его в 36 000 световых лет, Кертис считал, что оно раз в десять ближе. Но тогда светимость цефеид должна быть в среднем $+3^m$. Это, его, однако, не смущало, ибо он считал, что «имеющиеся наблюдательные данные едва ли свидетельствуют о существовании зависимости период—светимость

у галактических цефеид». Ярчайшие красные звезды шаровых скоплений Кертис считал карликами главной последовательности, а не гигантами, какими они являются на самом деле.

Среди аргументов Шепли, помимо данных о цефеидах, были и лучевые скорости шаровых скоплений, порядка 150—200 км/с. Если, как естественно считать, средняя скорость в направлении, перпендикулярном к лучу зрения, такова же, как и вдоль него, то при расстоянии в 3600 световых лет ярчайшие шаровые скопления должны были иметь собственное движение порядка $0",04$ в год, т.е. вполне заметную величину. На самом же деле оно ничтожно мало. Правда Шепли в отношении структуры и размеров Млечного Пути стала очевидной только после открытия вращения Галактики, хотя измеренные Шепли расстояния преувеличены вдвое—втрое. Но Кертис оказался прав во второй части «великого спора», в которой дискутировался вопрос о природе «слабых туманностей».

Островные вселенные или единый звездный агрегат?

По-видимому, впервые догадка о том, что звездная система Млечного Пути может быть одной из бесчисленного множества таких систем, была высказана шведским философом Эммануилом Сведенборгом. В 1734 г. он писал, что Млечный Путь может быть «звездной сферой» и что «возможно, существуют бесчисленные сферы такого рода». Райт, и позднее Кант и Ламберт также считали, что видимые кое-где на небе туманные пятна могут быть звездными системами, слишком далекими для того, чтобы мы могли различить в них отдельные звезды.

Со своими гигантскими телескопами Вильям Гершель многие из этих туманных пятен смог разрешить на звезды, и в 1785 г. он был уверен в том, что для некоторых туманностей этого нельзя сделать только из-за слишком большой их удаленности. Однако в 1795 г., наблюдая планетарную туманность, обозначаемую теперь NGC 1514, он отчетливо увидел в центре ее одиночную звезду, окруженную туманным веществом.

Существование подлинных туманностей, таким образом, не подлежало сомнению, и не было необходимости думать, что все туманные пятна — далекие звездные системы. И в 1820 г. Гершель говорил, что за пределом нашей собственной системы все покрыто мраком неизвестности.

В XIX веке в неразрешимых на звезды туманностях предпочитали видеть планетные системы в процессе образования — в духе гипотезы Лапласа; NGC 1514 казалась примером далеко зашедшей эволюции — из первичной туманности сконденсировалась уже центральная звезда. Но в середине века теория «островных вселенных» получила поддержку со стороны Джона Гершеля, пришедшего к выводу, что туманность M51 (M — каталог Мессье, составленный в 1781 г., и включающий сотню ярких объектов), у которой лорд Росс открыл в 1845 г. спиральную структуру, может быть похожа на Млечный Путь.

Лорд Росс наблюдал на гигантском по тем временам телескопе, 72-дюймовое зеркало которого было изготовлено из сплава меди и олова. Этот телескоп не очень мал и по нынешним меркам; в нашей убогой стране он был бы сейчас вторым по величине... К 2500 туманностям, открытым его отцом, Джон Гершель прибавил еще 5000, и его каталог затем лег в основу содержащего около 8000 галактик, звездных скоплений и туманностей каталога NGC (*New General Catalogue*), который составил Дрейер в 1885 г. Этот каталог и его дополнение IC (*Index Catalogue*), остается и по сей день наиболее употребительным для обозначения галактик.

Изучение распределения слабых туманностей по небу, проведенное Джоном Гершелем, дало, однако главный аргумент против предположения, что они являются далекими звездными системами, подобными нашей системе Млечного Пути. Была обнаружена «зона избегания» — почти полное отсутствие этих слабых пятнышек света близ плоскости Млечного Пути. Это было понято, как явное указание на их связь с системой Млечного пути. О том, что зона избегания является следствием поглощения света, наиболее сильного в плоскости Галактики, первым догадался Артур Эддингтон намного позднее.

Через несколько лет после открытия спектрального анализа Вильям Хеггинс первым начал изучать спектры звезд и туманностей. В 1864 г. он пришел к выводу, что эмиссионные линии спектра туманности Ориона говорят о ее газовом составе, но спектр туманности Андромеды (М31) был непрерывный, с линиями поглощения, как и у звезд. Казалось бы, спор решен, но Хеггинс заключил, что такой вид спектра М31 говорит лишь о высокой плотности и непрозрачности составляющего ее газа.

В 1890 г. Агния Клерк в книге о развитии астрономии в XIX веке 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 — и правильное — 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 формулировка принадлежит великому Лапласу. В начале XX века фотографии, полученные Килером с 36-дюймовым рефлектором на Ликской обсерватории, показали, что «слабых туманностей» не менее 120 000. Звездный спектр отражательных пылевых туманностей вокруг звезд Плеяд, казалось, подтверждал мысль о невозможности решить

вопрос спектральными исследованиями. Это позволило В. Слайферу предположить, что и спектр туманности Андромеды объясняется отражением света центральной звезды.

Для решения вопроса о природе «слабых туманностей» было необходимо знать их расстояние. Здесь могли помочь только фотометрические методы, но для их применения надо было знать светимость (абсолютную величину) каких-либо объектов, находящихся внутри этих туманностей, и сравнить ее с видимой величиной.

Эту задачу впервые решил американский физик Ф. Вери в 1911 г. Сначала он оценил расстояние до Новой Персея 1901 г., сравнивая угловую скорость расширения туманности, возникшей после вспышки вокруг звезды, со скоростью света. Он предполагал (совершенно справедливо), что расширение туманности — это не что иное, как распространение волны освещения межзвездной среды, окружающей Новую звезду, ее вспышкой. Получив таким образом расстояние, Вери мог из его значения и видимой величины Новой Персея определить ее светимость. Предположив, что светимость всех новых звезд одинакова, он сравнил ее с видимой величиной Новой 1885 г., вспыхнувшей близ центра туманности Андромеды,



Рис. 5.1. Туманность Андромеды. Современное изображение, полученное с небольшим телескопом и ПЗС-камерой, на котором уже можно различить ярчайшие звезды этой галактики.

и отсюда оценил расстояние до туманности в 500 пк. Более слабые «белые» туманности, к которым относили туманность Андромеды (в отличие от зеленоватых газовых), заключил Вери, лежат на расстояниях в миллионы парсек. Все правильно в этом рассуждении, кроме того, что Новая 1885 г. была на самом деле сверхновой, ярче обычных новых в тысячи раз — и, значит, расстояние М31 не 500 пк, а в тысячи раз больше... Но существование сверхновых было окончательно доказано лишь в тридцатых годах.

В 1914 г. Вестон Слайфер обнаружил, что лучевая скорость туманности Андромеды составляет -300 км/с. Это была тогда наибольшая среди лучевых скоростей всех небесных объектов, но уже в следующем году Слайфер нашел, что некоторые спиральные туманности обладают скоростями до $+1100$ км/с. Среди 15 изученных им спиралей 11 удалялись от нас. Эта странность спиралей явно ставила их в особое положение. Работа Слайфера была провозвестником открытия расширения Вселенной.

Изучая спектрограммы спиралей, видимых с ребра, Слайфер обнаружил, что линии на них наклонены, если щель спектрографа направлена вдоль большой оси туманности. Разные части туманностей имели разную лучевую скорость, и Слайфер объяснил это их вращением вокруг малой оси. Лучевые скорости давали линейную скорость вращения в километрах в секунду; вполне естественно было попытаться определить угловую скорость вращения, измеряя собственное движение деталей спиральных туманностей, видимых с полюса.

Многолетней работе Ван Маанена в этом направлении суждено было сделаться главным препятствием признанию существования других галактик. Сравнение положения почти звездообразных деталей спиральных рукавов туманностей на снимках, полученных Ричи на 60-дюймовом рефлекторе обсерватории Маунт Вильсон (вступившем в строй в 1908 г.) и самим Ван Мааненом, привело последнего в 1916 г. к выводу, что эти детали обладают ощутимым и упорядоченным собственным движением, указывающим на вращение туманности.

В М101 оно было определено в $0'',02$ в год, что соответствовало бы вращению туманности с периодом в 85 000 лет. Сравнение угловой и линейной скорости вращения М33 (туманности в созвездии Треугольника) дало для нее расстояние всего лишь в 2000 пк.

Великий спор-2

Эти данные Ван Маанена были главным аргументом Шепли во второй части «великого спора». Отстаивая полученные им гигантские размеры Галактики, Шепли вместе с тем боролся и против теории «островных вселенных». Расстояния, определенные Ван Мааненом для спиральных туманностей, были гораздо меньше размеров системы Млечного Пути по Шепли; о близости спиралей говорила, очевидно, и сама возможность определить в них собственные движения (на самом деле даже для самых близких галактик — Магеллановых Облаков — их определение остается и сейчас на грани возможного).

Второй аргумент Шепли основывался на блеске новых звезд в М31. Звезда 1885г. в М31 (S Андромеды) оставалась единственной новой в туманностях до 1917г., когда Ричи случайно нашел новую звезду в спиральной туманности NGC 6946. Сразу же были просмотрены коллекции снимков спиралей, и в них была открыта дюжина новых звезд, в том числе три в М31. И все они были на $(10-12)^m$ слабее, чем S Андромеды. Это различие величин казалось Шепли невероятно большим, а светимость S Андромеды — если туманность является внегалактической — невозможно высокой. Если же размеры этой туманности равны размерам Галактики, она, как считал Шепли, должна быть так далеко от нас, что ее новые звезды (не говоря уже об S Андромеды) должны были бы иметь существенно большую светимость, чем новые звезды Галактики.

Отсутствие спиралей близ плоскости Млечного Пути (зона избегания), известное с середины прошлого века, убеждало Шепли в том, что их распределение в пространстве каким-то образом связано с нашей Галактикой и что уже поэтому они

не могут быть «островными вселенными». В самом деле, не могут же тысячи огромных звездных систем располагаться в пространстве так, чтобы только не попадать в экваториальную плоскость одной из них — и именно нашей Галактики. Наученные горьким опытом, астрономы послекоперникового времени относятся с недоверием к гипотезам, сопряженным с признанием исключительности свойств нашего обиталища во Вселенной.

Если на некоторые аргументы Шепли у Кертиса не было убедительного ответа, то существование зоны избегания он объяснил совершенно правильно. Кертис отметил, что в экваториальной плоскости видимых почти с ребра спиральных туманностей обычно наблюдается темная полоса, которая должна состоять из поглощающей свет материи. Такая же концентрация непрозрачного вещества может быть и в экваториальной плоскости Млечного Пути, почему в ней и не видны далекие объекты.



Рис. 5.2. Спиральная галактика NGC 891, видимая с ребра. Пыль концентрируется в экваториальной плоскости.

Объяснение отсутствия спиралей в плоскости Млечного Пути экранизацией их слоем поглощающего вещества было предложено Артуром Эддингтоном еще в 1914 г. Тогда же он

писал: «Если предположить, что спиральные туманности находятся внутри нашей звездной системы, то мы ничего не можем сказать об их природе. Эта гипотеза заводит в тупик... Если же допустить, что эти туманности являются внешними по отношению к нашей звездной системе и что они в действительности являются системами, равными нашей собственной, это по меньшей мере открывает путь для новых гипотез, которые могут пролить некоторый свет на стоящие перед нами проблемы». Похоже, что Эддингтон сознательно следовал совету Дж. Максвелла: «Из всех гипотез выбирайте ту, которая не пресекает дальнейшего мышления об исследуемых вещах».

Кертис был в основном неправ в первой части спора (о размерах и строении Млечного Пути, что было главным для Шепли), но совсем неверным был вывод Шепли, что спиральные туманности «вообще не состоят из звезд, а представляют собой истинно туманные объекты». «Великий спор» в апреле 1920 г. ничего не решил. Не дискуссии, а наблюдательные данные решают проблемы. Такие диспуты остаются безрезультатными (но не бесполезными), ибо когда факты перевешивают в пользу одной из гипотез, у ее противников обычно уже исчезает желание спорить. Они просто умолкают: публичный отказ от своей точки зрения — весьма редкое явление! Однако мало найдется в истории науки более поучительных дискуссий, чем «великий спор».

Много лет спустя Шепли вспоминал: «Я был прав, а Кертис ошибался в самом главном пункте — в оценке размеров, в масштабах. Наша Вселенная очень велика, а он рассматривал ее как маленькую. Расстояния спиральных туманностей — продолжал Шепли, — не относились к официальной теме дискуссии. И здесь Кертис одержал победу. Я ошибался, потому что ставил на измерения движений в спиральных, сделанные Ван Мааненом... Я считаю своим промахом то, что я так слепо доверял тут моему другу Ван Маанену...»

Наверное, и во многих нынешних спорах — такое же переплетение верных и ошибочных соображений у каждой стороны, как это было в «великом споре».

Спор решают большие телескопы

Судьба гипотезы «островных вселенных» упиралась, как мы видели, в неопределенность расстояний «спиралей». (Поскольку среди ярких внегалактических туманностей большинство показывало спиральную структуру, это название «спирали» применялось ко всему классу объектов, которые мы называем теперь галактиками). Великолепные снимки, полученные Джорджем Ричи на 60-дюймовом рефлекторе на Маунт Вилсон, показывали, что спиральные ветви туманности Треугольника (M33) усыпаны звездами, но звезды эти часто были нерезкие, туманные. Это могли быть и компактные туманности, и звездные скопления, и несколько слившихся изображений звезд. Описывая в 1910 г. свои фотографии, Ричи говорил о больших спиральных туманностях, что все они «содержат большое количество мягких звездообразных конденсаций, которые я буду называть туманными звездами». Таких звезд он насчитал 2400 в M33 и 1000 в M101. Мы знаем теперь, что лишь в достаточно близких галактиках M31 и M33 Ричи фиксировал действительно отдельные звезды.

В 1921 г. Кнут Лундмарк, считая, что «конденсации» — отдельные звезды и ярчайшие из них имеют такую же светимость, что и в нашей Галактике, оценил расстояние M33 (туманности Треугольника) в 300 кпк. Он ошибся лишь вдвое. Лундмарк пришел также к выводу, что среди новых звезд надо выделить класс звезд, — к нему принадлежала и S Андромеды — которые по светимости в максимуме блеска в тысячи раз ярче, так что большая яркость S Андромеды не противоречит внегалактическому расстоянию M31.

В 1922 г. Дункан открыл в M33 три переменные звезды, но не исследовал их. «Великий спор» близился к концу. Окончательно разрешил его в 1924 г. Эдвин Хаббл (1889–1953), 35-летний астроном обсерватории Маунт Вилсон. В конце 1923 г. при поисках новых звезд он обнаружил в M31 первую цефеиду. Слава пришла к нему, а не к Лундмарку, потому что Хаббл сумел доказать, что видит в M31 звезды.

Хаббл, изучая пластинки, полученные Ричи, пришел к выводу, что изображения «туманных звезд», хотя и очень малы, определенно «мягче», более размыты, чем изображения столь же слабых звезд Галактики. Однако в центральных областях туманностей звездообразные конденсации были наложены на плотный фон, а во внешних областях они уже попадали на края пластинки, где качество изображений было хуже. Поэтому Хаббл пришел к выводу, что не вполне звездный характер изображений «конденсаций» — главное, что заставляло Шепли не считать их звездами, — может быть и следствием фотографических эффектов. Хаббл получил на 100-дюймовом рефлекторе при наилучших изображениях негативы центральных областей туманностей при коротких экспозициях. Фон не проработался, и характер изображений «конденсаций» стал совершенно звездным. Краевые области туманностей, помещенные в центр пластинки, также разрешались на звезды, неотличимые от столь же «слабых» звезд Млечного Пути. Хаббл отметил, что еще на снимках, полученных И. Робертсом в 1887 г. с помощью 20-дюймового рефрактора, во внешних частях туманности Андромеды были видны многочисленные звезды.

С помощью 100-дюймового рефлектора обсерватории Маунт Вилсон (близ Лос Анджелеса), вступившего в строй в 1918 г., Хаббл к концу 1924 г. обнаружил и исследовал в М33, туманности Треугольника, 47 очень «слабых» переменных звезд

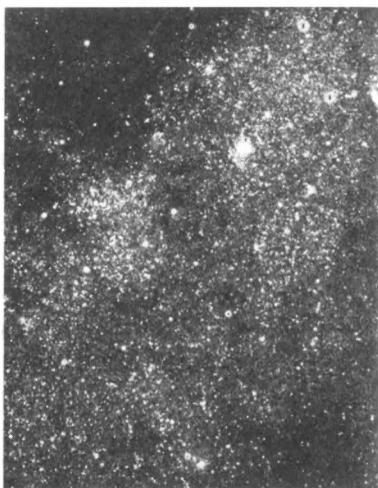


Рис. 5.3. Изображение юго-западного «угла» галактики Андромеды, на котором видны многочисленные звезды высокой светимости; несколько процентов из них — цефеиды (2,5-м телескоп NOT).

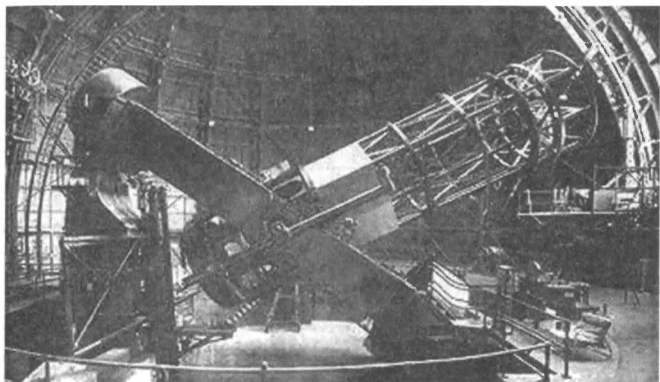
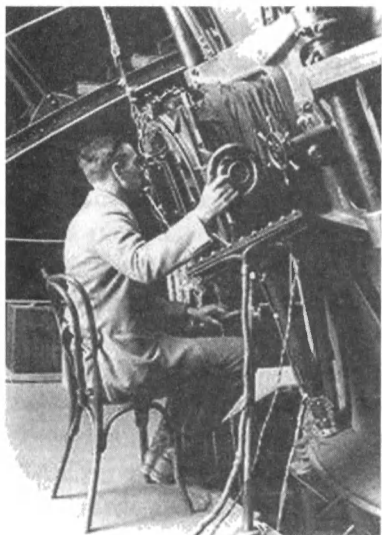


Рис. 5.4. 100-дюймовый рефлектор Обсерватории Маунт Вилсон.

и 36 таких же звезд — в туманности Андромеды. Из них 22 в М33 и 12 в М31 всеми своими характеристиками напоминали цефеиды. Хаббл определил их периоды и нашел, что амплитуда изменения блеска у этих звезд такая же, как и у галактических цефеид данного периода, не уменьшена. Доказательства звездного характера изображений «конденсаций» было еще недостаточно; их угловые размеры могли соответствовать



размерам целых скоплений. Если это слившиеся изображения нескольких звезд, то будь одна из них цефеидой, амплитуда изменения блеска была бы у суммарного изображения существенно меньше, чем у одиночной звезды. Но кривые блеска звезд Хаббла ничем не отличались от кривых для цефеид Галактики и Магеллановых Облаков.

Рис. 5.5. Э. Хаббл у окуляра ньютоновского фокуса 100" телескопа.

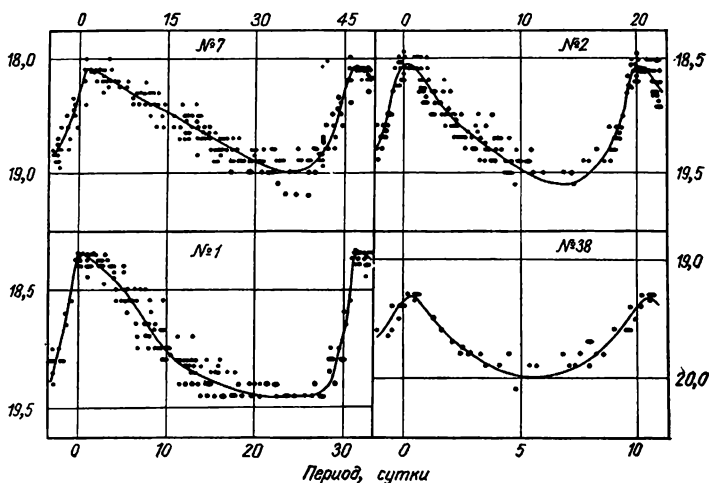


Рис. 5.6. Кривые блеска для четырех цефеид галактики Андромеды, построенные Хабблом. Указаны их периоды и звездные величины.

Сомнений в том, что переменные звезды в М33 и М31 — тоже цефеиды, не могло быть. Цефеиды обнаружены были также в неправильной галактике NGC 6822.

Примененная Хабблом зависимость период—светимость указывала, в отличном согласии с результатом Лундмарка, что расстояние М33 составляет 285 кпк. Даже при завышенных Шепли размерах Галактики это расстояние уводило туманность Треугольника далеко за пределы Млечного Пути. Примерно такое же расстояние вскоре было получено для М31. Шепли был сражен его же собственным оружием.

Известие об открытии Хаббла уже проникло в газеты, но лишь уступая настояниям Г. Рессела, Хаббл прислал статью об исследованиях цефеид в М33, М31 и NGC 6822 на очередной съезд Американского астрономического общества в Вашингтоне. 1 января 1925 г. Стеббинс прочел доклад Хаббла, и все поняли, что спор окончен навсегда...

«Истинная причина моего нежелания спешно публиковаться, — писал Хаббл Ресселу в феврале 1925 г., — состоит

как вы, возможно, догадываетесь, в явном противоречии с Ван Мааненовским вращением. Проблема примирения двух рядов данных имеет определенную привлекательность, но, несмотря на это, я убежден, что об измеренных вращениях надо забыть».

Стало ясно, что движения «туманных звезд» вокруг центров спиральных туманностей, которые обнаружил Ван Маанен, являются инструментальным эффектом, но сам он лишь в 1935 г. полностью согласился с этим. Вальтер Бааде, по поручению Хаббла подробно исследовавший этот вопрос, пришел к выводу, что главной причиной является несовпадение геометрического центра изображения с центром максимального почернения на негативах, полученных Ричи, который прерывал экспозицию при ухудшении изображений. Измерения с малым увеличением, проводившиеся Ван Мааненом, дают положение геометрического центра для более ярких (почти) звездообразных объектов и центра плотности — для слабых. Никольсон, работавший с малым увеличением, вновь нашел вращение, а Бааде и Хаббл, применив большое увеличение, никакого вращения не нашли. К 1934 г., В.Бааде и Ф.Цвикки окончательно доказали существование сверхновых звезд, к которым относится и S Андромеды. Все противоречия исчезли.

Расстояния неразрешимых на звезды спиральных и эллиптических туманностей можно было теперь в первом приближении оценить просто сравнением их угловых размеров с M31 и M33. Речь шла уже о тысячах тысяч килопарсеков. Границы Вселенной бесконечно раздвинулись, и она явилась наполненной миллиардами звездных островов.

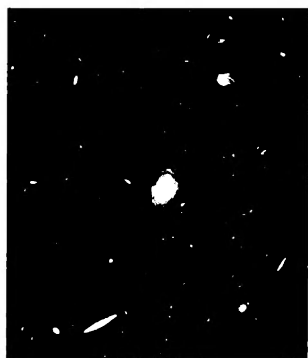


Рис. 5.7. Участок «Ультраглубокого поля» Космического телескопа имени Хаббла (HST). Все видимые на нем объекты — далекие и очень далекие галактики.

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 и число исключений из нее — если не говорить о двойных, взаимодействующих галактиках, — можно перечислить по пальцам, как говорил Вальтер Бааде.

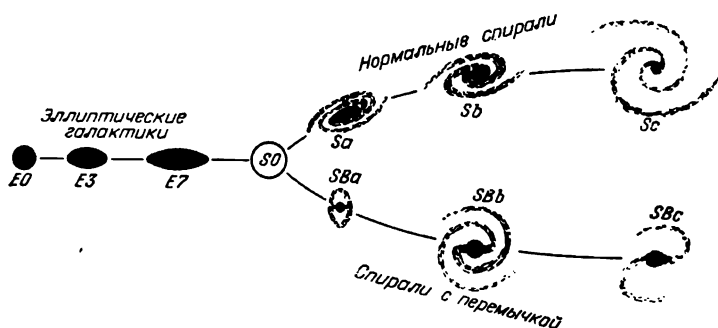


Рис. 5.8. Нарисованное Хабблом схематическое изображение предложенной им в 1925 г. классификации галактик («камертон Хаббла»).

Увидеть можно только то, что считаешь возможным увидеть... Когда в начале 20-х годов 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!

Встретившись с Шепли в Гамбурге в 1920 г., Бааде спросил его, почему он не продолжает исследования галактик. На только что опубликованном снимке M33, полученном Ричи,

— вспоминал Бааде, — было видно, что «система просто усыпана звездами». Но Шепли отвечал, что изображения незвездные, слишком размыты, и убедить его не удалось. А в следующем году 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, Шепли активно включился в исследование галактик, и само внедрение этого термина — это 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...

Глава 6. НАША ГАЛАКТИКА — МЛЕЧНЫЙ ПУТЬ

Часто труднее всего заметить
именно то, что должно было бы
бросаться в глаза.

Пьер Тейяр де Шарден

Открытие населенной галактиками Вселенной было и открытием нашей Галактики — как одной из многих подобных систем. Теперь можно было сравнивать нашу звездную систему с другими и, наоборот, опираться при их изучении на знания о нашей Галактике.

Главную трудность при исследованиях Галактики составляет поглощение (точнее, рассеяние) света в облаках газа (атомарного и молекулярного водорода), содержащих также примесь твердых частиц, в основном углерода, из-за чего уменьшается видимый блеск звезд и искажаются их фотометрические расстояния, единственно определяемые для удаленных объектов. Были изобретены способы определения поглощения по многоцветной узкополосной фотометрии звезд. Однако увидеть объекты за наиболее плотными пылевыми облаками стало возможно лишь недавно, при наблюдении в далеком инфракрасном диапазоне, в котором поглощение мало.

Развитие интерференционных наблюдений из космоса на масштабах в несколько десятилетий позволит определять расстояния объектов в нашей Галактике из геометрических соображений, без знания их светимости и видимого блеска, исправленного за поглощение. Пока же объекты с наиболее точными расстояниями, находящиеся в плоскости галактики — рассеянные скопления и цефеиды — доступны нам на расстояниях, не превышающих в наиболее прозрачных направле-

ниях 4—5 кпк; уже при расстояниях, больших 2 кпк наши данные неполны. До центра же Галактики около 8 кпк. Остается уповать на повышающуюся точность определения расстояний для все возрастающего числа объектов разного рода — и на знание того, в какие подсистемы организованы звезды и скопления разного типа в других галактиках.

К сороковым годам было надежно установлено, что можно говорить о существовании в Галактике центрального вздутия (балджа), окруженного дискообразной системой звезд и галактической короной (гало) — почти сферической, менее густо населенной системой. Эти главные подсистемы хорошо видны на изображениях спиральных галактик, видимых почти «с ребра»; в последние годы их можно непосредственно усмотреть на охватывающих все небо изображениях Млечного Пути в инфракрасных лучах.

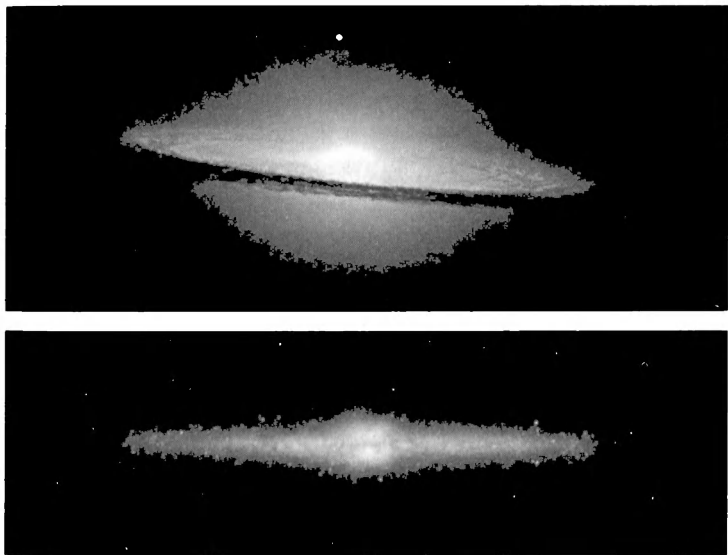


Рис. 6.1. Наверху — спиральная галактика NGC 4594 (Сомбреро), внизу — Млечный Путь в ИК-диапазоне (изображение охватывает все небо, центр Галактики в середине, по обоим краям — направление на антицентр).

Эти знания явились итогом изучения галактик разного типа и исследования движений и пространственного распределения звезд, скоплений и газовых облаков в нашей Галактике. Оказалось, что в ней, как во всех спиральных системах, имеются два главенствующих типа звездного населения. Население типа I, к которому относится Солнце, рассеянные скопления, звезды-сверхгиганты, облака газа и пыли, концентрируется к плоскости Галактики, а население типа II (шаровые скопления, планетарные туманности, звезды типа RR Лиры и некоторые звезды-гиганты и др.) — к ее центру, образуя сфероидальное гало, центральная часть которого видна в спиральных галактиках как «балдж», вздутие линзообразного диска. В эллиптических галактиках диск отсутствует, и все их объекты относятся к населению типа II.

Вращение Галактики

Распознавание двух типов звездного населения было итогом серии работ, начавшихся с открытия различий в движениях разных типов звезд и скоплений. Еще в 1925 году Стремберг окончательно установил странную асимметрию в направлении движений шаровых скоплений: они все движутся в одну сторону 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. Линдблад объяснил это тем, что объекты с высокими скоростями образуют почти сферическую (точнее говоря, эллипсоидальную) систему, а большинство звезд в окрестностях Солнца и оно само, а также рассеянные скопления, — входят в плоскую систему, члены которой находятся в быстром почти круговом вращении вокруг центра Галактики. Система шаровых скоплений, наоборот, вращается как целое вокруг этого центра очень медленно, чем и объясняется высокая скорость Солнца относительно членов сфероидальной системы. Они двигаются вокруг центра Галактики в разных направлениях по вытянутым орбитам.

Среднее направление векторов скоростей членов этой системы отражает движение Солнца вокруг центра Галактики, и оно должно быть перпендикулярно к направлению на центр. Полученное таким образом направление на центр вращения с точностью до нескольких градусов совпало с положением центра системы шаровых скоплений, найденным Шепли.

Вскоре Я. Оорт (1900–1992) рассмотрел влияние вращения Галактики на собственные движения и на лучевые скорости звезд при двух предположениях — «твердотельное» вращение и вращение по законам Кеплера. В первом случае, который осуществился бы при однородном распределении вещества в Галактике, она вращалась бы как патефонная пластинка, расстояния всех ее точек друг от друга сохранялись бы неизменными. Но если значительная доля массы Галактики сосредоточена в ее центре, вращение звезд вокруг него должно напоминать вращение планет вокруг Солнца и подчиняться законам Кеплера; линейные скорости звезд должны убывать пропорционально корню квадратному расстояния от центра. Это различие в скоростях вращения можно обнаружить, определяя лучевые скорости звезд в разных направлениях от Солнца. В четырех направлениях лучевые скорости звезд в среднем будут равны нулю: в направлении центра и антицентра (потому что проекция скорости на луч зрения равна нулю) и двух перпендикулярных (потому что скорости вращения звезд, находящихся на одинаковом расстоянии от центра Галактики, одинаковы). В двух направлениях (под углом 45° к предыдущим) проекция средней скорости на луч зрения будет максимальна и направлена на Солнце, и в двух других — от него. Следовательно, кривая зависимости лучевых скоростей от направления (от галактической долготы) покажет двойную волну — кривую с двумя максимумами и двумя минимумами.

Оорт показал, что эта зависимость для звезд в галактической плоскости должна представляться формулой

$$V_r = Ar \sin 2l,$$

где r — расстояние звезды от Солнца, и l — галактическая

долгота, отсчитываемая от центра Галактики. Взяв затем лучевые скорости звезд классов *O* и *B* и цефеид, Оорт нашел, что звезды Галактики действительно вращаются, подчиняясь его формуле, и центр вращения лежит в направлении созвездия Стрельца. Он определил также величину постоянной галактического вращения *A*, называемой теперь постоянной Оорта. Она характеризует степень уклонения вращения от твердотельного. Если эта постоянная известна по каким-нибудь объектам, формула Оорта дает возможность определить расстояние для однородной группы звезд.

Влияние вращения Галактики на собственные движения заметить труднее; оно не зависит от расстояния до Солнца. Комбинируя лучевые скорости и собственные движения, Оорт смог оценить расстояние до центра Галактики, которое получилось равным 5100 пк. Современные оценки этим способом дают 7000—8000 пк. Кривая вращения — зависимость его скорости от расстояния до центра Галактики, полученная по современным данным о движениях газовых облаков, изображена на рис 6.2.

В самых внутренних областях она близка к твердотельной, затем скорость чуть убывает; однако еще дальше, вплоть до расстояний самых далеких объектов с измеримыми скоростями, скорость вращения остается постоянной или медленно возрастает. К 1970-м годам это подтвердили и наблюдения нейтрального водорода и в нашей, и в большинстве других галактик. Практически общепринятое объяснение этой странности состоит в том, что кроме видимого гало из объектов населения II, галактики окружены намного более обширным гало из гравитирующей, но ненаблюдаемой материи. К великой проблеме скрытой массы мы еще вернемся.

Открытие поглощения света в пылевой материи, конденсирующейся к плоскости Галактики, позволило объяснить ее резко преувеличенные размеры, определенные Шепли, из-за которых он еще в 1930-х гг. считал возможным, что система Млечного Пути является чем-то вроде очень тесной группы галактик, состоящей из собственно Млечного Пути с центром

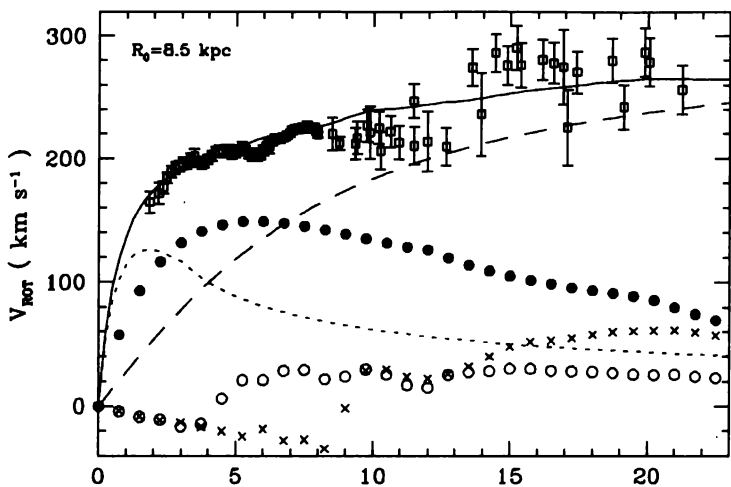


Рис. 6.2. Суммарная кривая вращения Галактики (верхняя сплошная кривая). По оси абсцисс — расстояния от центра в килопарсеках. Различными значками изображены образующие ее кривые вращения отдельных составляющих Галактики: балджа (частый пунктир), звездного диска (зачерненные кружки), слоя HI (крестики), слоя H_2 (молекулярного водорода, открытые кружки) и гало ненаблюдаемого темного вещества (редкий пунктир), вклад которого определяет кривую вращения на больших расстояниях от центра. По работе Оллинга и Меррифилда, 2000 г.

в Стрельце, Магеллановых Облаков и пояса Гульда — комплекса молодых звезд с диаметром около 800 пк, плоскость которого наклонена на 18 градусов к плоскости Млечного Пути. Намного более старое (около 5 млрд. лет) Солнце случайно находится близ его центра, откуда другое название этого комплекса — Местная система.

В 1944 г. Бааде разложил на звезды центральную часть туманности Андромеды и обнаружил, что это звезды того же типа, из которых состоят шаровые скопления. Он заключил, что найденное Линдбладом и Оортом деление звезд и скоплений Галактики на быстро вращающийся диск и медленно вращающийся сфероидальный компонент, является общим правилом, и что звезды этих двух населений отличаются и по

своим физическим характеристикам. Мы знаем теперь, что главная причина этих отличий состоит в том, что сфероидальная система населения II состоит только из старых объектов, в то время как плоская система населения I включает звезды и скопления всех возрастов. Самые же молодые объекты концентрируются в спиральных рукавах.

Спиральная структура

Уже в 1940-х годах было ясно, что размеры, масса, закономерности вращения нашей Галактики напоминают наблюдаемые у ближайшей спиральной галактики M31; было естественно думать, что, как и туманность Андромеды, наша Галактика имеет спиральные ветви.

Природа спиральных рукавов галактик долгое время была загадкой. Они составляют столь характерную особенность этих объектов, что представлялись ключом ко всей проблеме природы галактик. Дж. Джинс писал в 1929 г., что пока спиральные рукава остаются необъясненными, нельзя доверять теориям строения галактик. Он допускал, что в рукава закручивается вещество, выбрасываемое из ядер галактик из других пространственных измерений. Еще недавно защищал близкую точку зрения Х. Арп. Однако часто рукава не начинаются сразу от ядра, движение вещества вдоль рукавов отсутствует, близ них наблюдаются отклонения скоростей вращения звезд и газа от значений, соответствующих круговому вращению вокруг центра галактики. Последнее обстоятельство говорит о том, что тянущиеся на десятки килопарсек правильные симметричные относительно центра галактики рукава — это спиральные волны повышенной плотности газа и звезд, возникшие благодаря спиральному возмущению гравитационного поля галактики. Причиной его считают наличие спутника, как у M51, или наблюдающееся у всех спиральных галактик с такими рукавами отклонения их центральных частей от осевой симметрии — они имеют либо перемычку (бар), соединяющую исходные точки рукавов, либо овальную форму.

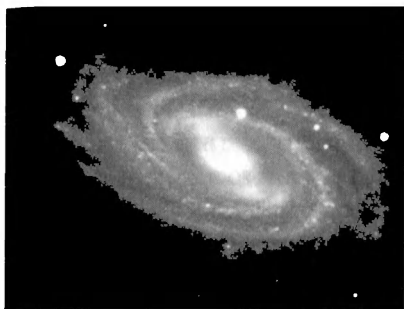


Рис. 6.3. Спиральная галактика M109 с волновыми рукавами.

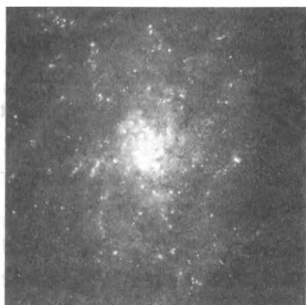


Рис. 6.4. Спиральная галактика NGC 7793 с фрагментарными рукавами.

Однако такие длинные красивые рукава имеет лишь меньшинство спиральных галактик. Во многих из них всегалактическая волна плотности отсутствует, и в них наблюдаются лишь короткие обрывки рукавов — это, в сущности, звездные комплексы, растянутые дифференциальным вращением галактики.

Большие постаревшие комплексы уже слабо связаны гравитационно и неспособны противостоять приливным силам от центральных областей галактики (проявлением которых и является уклонение вращения галактик от твердотельного). Угловая скорость вращения возрастает к центру галактики, более близкая к центру часть комплекса уходит вперед, более далекая отстает, и мы получаем короткий фрагмент спирали. Длинным он стать не может, ибо входящие в комплекс звезды становятся уже слишком стары, да и к тому же они постепенно расплываются в пространстве из-за случайных отклонений их скоростей от круговых.

Дифференциальность вращения обусловлена центральной конденсацией массы в галактике — она отсутствует у неправильных галактик, почему в них и не развивается спиральная структура. У них, как и вообще у карликовых галактик, вращение почти твердотельное. Эллиптические же галактики как целое не вращаются, орбиты их членов хаотичны.

Спиральные рукава Галактики

Предположение о том, что и наша Галактика имеет спиральную структуру, появилось, как мы уже видели, давно. С нашими современными знаниями о других галактиках этот вывод неизбежен. Само наличие Млечного пути говорит о том, что наша система относится к дискообразным, но она не может быть неправильной галактикой уже потому, что их массы невелики. По скоростям вращения звезд и газовых облаков вокруг центра и их расстояниям можно определить полную массу Галактики, и она оказывается порядка 100 миллиардов солнечных масс. Известно также, что оба типа звездного населения в ней хорошо представлены. Это, как и большая масса, наблюдается только у спиральных галактик.

Однако расположение спиральных рукавов и даже их число остаются предметом дискуссий. Косвенные данные позволяют предположить, что в Галактике четыре спиральных рукава, спиральный узор правильный и связан с всегалактическими спиральными волнами плотности. Наиболее вероятный источник их возбуждения — отклонение от осевой симметрии в центральной части Галактики. Крайняя его форма известна у т. н. пересеченных спиралей, галактик, у которых спиральные рукава начинаются не из центральной области, а от концов бара, прямолинейной перемычки, соединяющей начала рукавов и проходящей через центр.

Предположение о существовании бара у нашей Галактики высказал Ж. де Вокульор еще в 60-х годах. Оно было прочно позабыто, но в последние несколько лет возрождается на основании данных о кинематике газа близ центра, а также по результатам исследований распределения звезд в ИК-диапазоне, поглощение света в котором невелико. Многие десятилетия астрономы сетовали, что нам не повезло — в Местной группе галактик нет пересеченных спиралей и поэтому исследовать их трудно. Жалобы были услышаны, бар найден в нашей собственной Галактике, но исследовать его потруднее, чем в далеких системах.

Ключ к установлению положения спиральных ветвей Галактики опять же дали исследования близких галактик. Главным образом работами Вальтера Бааде на 100-дюймовом рефлекторе в 1945—1949 гг. было установлено, что в туманности Андромеды в спиральных рукавах концентрируются прежде всего горячие звезды высокой светимости и эмиссионные туманности; Бааде обнаружил также, что там же находятся пыль и газ. Только когда шаровое скопление в М31 попадает за спиральный рукав, оно показывает большой избыток цвета. Таким образом, отсутствие эмиссионных туманностей (т.е. областей ионизованного водорода, HII, возбужденного излучением горячих соседних звезд, в спектре которых линии водорода светлые, эмиссионные) вне спиральных ветвей объясняется тем, что в этих ветвях концентрируются не только горячие звезды, но и газ.

Первое исследование спиральной структуры Галактики, приведшее к подтверждающимся и ныне результатам, основывалось именно на данных об эмиссионных туманностях. Это была работа Моргана, Шарплесса и Остербрука, выполненная в 1952 г. Вскоре эти результаты были подтверждены в Крымской астрофизической обсерватории — примерно такое же распределение эмиссионных туманностей в галактической плоскости было найдено В. Ф. Газе, а в 1958 г. близкие выводы были получены И. М. Копыловым, определившим расстояния молодых группировок горячих звезд. Все эти работы показывали, что спиральные ветви Галактики закручиваются, т.е. направление вращения Галактики совпадает с направлением от конца ветви к ядру Галактики.

В 1963 г. В. Беккер подтвердил, что лишь скопления, содержащие звезды *OB-2*, концентрируются в отрезках спиральных рукавов, угол закручивания которых (т.е. угол между ними и проведенными вокруг центра Галактики окружностями) составляет около 25 градусов. С тех пор все оптические исследования обнаруживают существование этих трех отрезков, причем по названию созвездий, в направлении которых они в основном проецируются, им были даны названия рукавов

Персея, Ориона-Лебедя (или Солнечного, Местного рукава, потому что Солнце находится близ его внутреннего края) и рукава Стрелец—Киль.

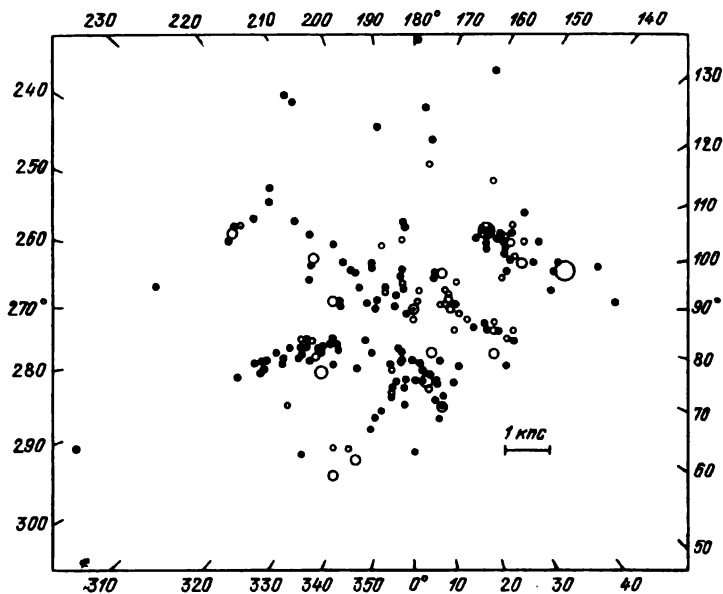


Рис. 6.5. Распределение *ОВ*-ассоциаций в окрестностях Солнца по данным Р. Хемфрис. Солнце в центре, указаны галактические долготы.

Поскольку расстояния цефеид известны с такой же точностью, как у хорошо изученных скоплений, их также можно использовать для изучения спиральной структуры. Они однако старше *ОВ*-звезд. Лишь рукав Киль—Стрелец выделяется как область повышенной плотности цефеид всех периодов, а к остальным рукавам концентрируются лишь более молодые, но немногочисленные цефеиды наибольших периодов, так что локализовать два других рукава только по цефеидам было бы невозможно. Скорее всего, рукав Киль—Стрелец действительно является наиболее мощным из доступных изучению оптическими методами.

Согласно теории, в волновых спиральных рукавах должны быть и довольно старые звезды — их притягивает туда повышенный в рукаве гравитационный потенциал. Лишь у звезд с возрастом, превышающим сотни миллионов лет случайные скорости (растущие с возрастом) столь высоки, что они не задерживаются в рукаве. Повышенная в рукаве плотность молодых звезд объясняется, конечно, тем, что они здесь же и родились, из газа, стянутого в рукав его гравитацией.

За пылевыми облаками видимая плотность звезд может быть меньше просто потому, что облака на несколько величин ослабляют блеск звезд. Отдельные звезды типа Вольфа—Райе (горячие звезды высокой светимости, интенсивно теряющие вещество и, значит, очень молодые) и области HII обнаруживаются до расстояний в 7—10 кпк от Солнца, но с минимально необходимой полнотой даже эти объекты известны лишь до расстояний в 3—5 кпк, да и расстояния их ненадежны.

Линия 21 см и около

Для изучения спиральной структуры всей Галактики используются данные о распределении HI, нейтрального водорода, для излучения которого на длине волны 21 см межзвездная среда прозрачна. Доля газа составляет менее 10% от массы звезд Галактики, но в спиральных галактиках он концентрируется в рукавах.

В развитии этого направления советские астрономы были в числе первых: интереснейшие сведения об этом приводит И.С. Шкловский (Шкловский И.С. Из истории развития радиоастрономии в СССР. М.: Знание, 1982. Эта новелла помещена также в книгу воспоминаний о И.С. Шкловском — Разум, жизнь, Вселенная, М. «Янус», 1996.)

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 существовавшем тогда 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 рассказывает 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 физiku 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...

Заметим в порядке отступления, что этот рассказ И. С. Шкловского о пагубности слепого следования научным авторитетам дорого ему обошелся. Будучи редактором стенной газеты ГАИШ, я выбрал для публикации именно этот отрывок из рукописных тогда мемуаров И. С., — единственное условие было не делать купюр внутри любого выбранного фрагмента. Через некоторое время директор ГАИШ Е. П. Аксенов получил возмущенное письмо от акад. И. М. Лифшица, который усмотрел в публикации «Владилены» (так называлась наша стенгазета — по имени одного из астероидов...) оскорбление памяти Ландау. По-видимому, инициатива публикации была приписана Шкловскому. И в ноябре 1984 г., встретив меня при входе в ГАИШ, он сказал: «Вот, Юра, из-за вашей газетки не видать мне академства, Лифшиц совершенно сбесился». И он оказался прав, отношения с академиками-астрономами у него и так были неважные...

В 1951 г. линия 21 см в радиоспектре галактического излучения была обнаружена в США и Австралии, а в 1954 г. Оорт, Ван де Хюлст и Мюллер впервые построили распределение нейтрального водорода в Галактике. Для каждого интервала

галактических долгот они строили зависимость интенсивности излучения от длины волны, которая несколько отличается от 21 см вследствие эффекта Доплера — наличия у водородных облаков лучевых скоростей. Эти скорости являются проекциями на луч зрения векторов кругового вращения облаков вокруг центра Галактики и по этим данным можно, в принципе, определить их расстояние и, в конечном счете, построить карту распределения водорода во всей Галактике.

Наибольшей лучевой скоростью при данной долготе будет обладать водородное облако, находящееся ближе всего к центру; зная расстояние от центра до Солнца, можно найти расстояние такого облака и от нас и от центра. Необходимо при этом, однако, предполагать, что именно в той точке, где линия данной долготы проходит ближе всего к центру, имеется облако водорода — что, конечно, необязательно. Уже этого достаточно для того, чтобы объяснить различия получавшейся у разных исследователей картины концентрации водорода в сегментах окружностей (или, если угодно, спиральных рукавов с близким к нулю углом закручивания).

К сожалению, в столь много обещавших данных радиоастрономии имеется и другая принципиальная неоднозначность. Максимумы на графиках, изображающих зависимость интенсивности излучения водорода от лучевой скорости (при данной долготе), которые объяснялись присутствием в данном направлении изолированных водородных облаков, могут появляться даже и в том случае, если водород распределен равномерно, но скорости его движения отличаются от круговых. Кроме того, при тех долготах, где лучевая скорость мало изменяется с расстоянием, максимумы могут появиться как результат сложения интенсивностей линий с близкими скоростями.

В. Бертон в 1971—1974 гг. показал, что отклонений от кривой вращения Галактики в 5—10 км/с достаточно, чтобы воспроизвести наблюдаемую картину интенсивностей и лучевых скоростей линий водорода на разных долготах даже при полностью однородном его распределении в плоскости Галактики. Конечно, водород концентрируется в спиральных рукавах, но

скорости его облаков могут отличаться от круговых. Некоторое представление о положении спиральных рукавов из наблюдений нейтрального водорода можно получить, проследивая положение возмущений поля скоростей: согласно волновой теории спиральной структуры, должен быть перепад скоростей между ветвями и пространством между ними. Кривые вращения Галактики, построенные отдельно для северного и южного полушарий, действительно показывают характерные отклонения от кругового вращения, соответствующие, очевидно, положению спиральных рукавов.

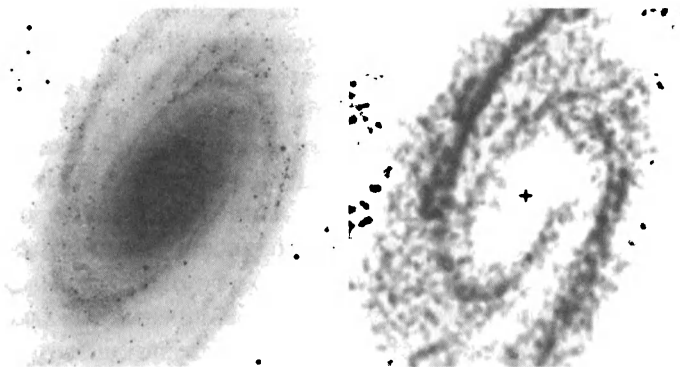


Рис. 6.6. Спиральная галактика М81 в синих лучах и в линии нейтрального водорода 21 см.

Радиоастрономические данные тогда же показали, что в других галактиках нейтральный водород действительно располагается вдоль спиральных ветвей. С помощью многоантенного радиотелескопа в Вестерборке в 1972 г. голландские радиоастрономы достигли разрешения в 24–32 секунды дуги, и это решило проблему. Вначале было получено изображение М51 в непрерывном спектре в области длины волны 21 см, показавшее великолепные спиральные ветви, совпадавшие с внутренним краем оптических ветвей и прожилками пыли. Сжатие межзвездной среды сжимает и межзвездное магнитное поле, так что совпадение максимума интенсивности синхротронного излучения (т.е. излучения, связанного с движением

электронов в магнитных полях) с пылевыми полосами указывает на существование волн плотности вдоль спиральных рукавов. А вскоре были получены изображения спиральных ветвей в ряде галактик и в линии излучения нейтрального водорода 21 см.

План Галактики

Проблема построения чертежа спиральной структуры нашей Галактики остается нерешенной и поныне, однако определенные выводы можно получить соединением оптических данных из окрестностей Солнца и данных о молекулярном и атомарном водороде. На наш взгляд ключевое значение имеет тот факт, что газовые сверхоблака (их масса оставляет около 10^7 солнечных) бесспорно обрисовывают ветвь Киля, простирающуюся на сорок килопарсек с углом закручивания в 10–12 градусов. Эти сверхоблака состоят из гигантских молекулярных облаков, окруженных нейтральным атомарным водородом, характерная их масса около 10 миллионов солнечных; они почти всегда связаны с молодыми звездными комплексами и гигантскими областями HII и хорошо видны в спиральных рукавах многих галактик как яркие пятна. В работе Д. Грабельского и др., опубликованной еще в 1988 г., хорошо видно, что в направлении ветви Киля сверхоблака HI, ядрышками которых являются молекулярные облака, располагаются на небе через примерно равные промежутки (рис. 6.7).

Вся ветвь Киля находится дальше солнечного круга от центра Галактики и неоднозначности в определении расстояний по лучевым скоростям не возникает; для многих сверхоблаков расстояние к тому же известно по находящимся в нем областям HII. С тем же углом закручивания эту ветвь можно экстраполировать и в первый квадрант галактических долгот — в сторону Стрельца — и при этом она проходит как раз через несколько расположенных в нем сверхоблаков. Оказывается при этом, что сверхоблака и в пространстве расположены вдоль рукава Киль—Стрелец регулярным образом,

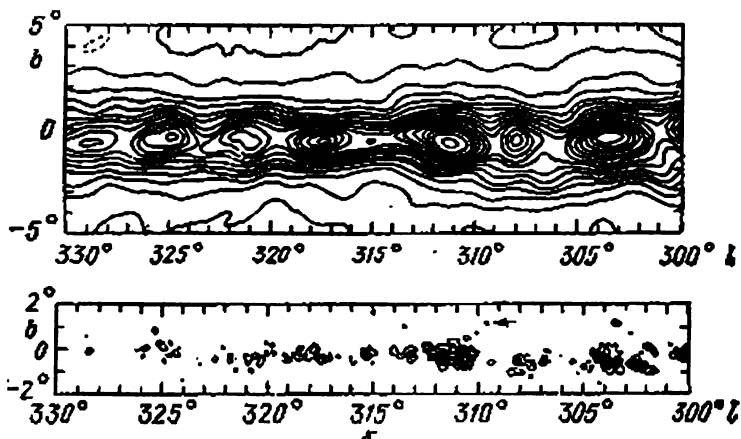


Рис. 6.7. Сверхоблака рукава Киля, как они обрисовываются изоденсами HI (наверху) и облака молекулярного водорода (внизу) в IV квадранте галактических долгот. Молекулярные облака находятся в наиболее плотных центральных областях сверхоблаков. Данные Д. Грабельского и др. (1988) и Кохена и др. (1985). К сожалению, более новые данные отсутствуют.

с характерным расстоянием около 1 кпк или кратным этому значению — некоторые места оказываются пустыми. На рис. 6.8 показана построенная нами путем объединения описанных выше результатов ветвь Киля—Стрельца, обрисовываемая сверхоблаками, а также распределение в галактической плоскости всех 628 цефеид Галактики, имеющих надежную фотометрию, по неопубликованным пока данным Л. Н. Бердникова. Вне пределов этого чертежа ничего достоверного о спиральной структуре Галактики сказать нельзя!

Как нашли Брюс и Дебра Эльмегрин, регулярные промежутки между газо-звездными комплексами вдоль рукавов характерны для галактик, обладающих правильным симметричным спиральным узором; о наличии его в нашей Галактике говорит и само существование столь длинного рукава. В таком предположении можно попытаться реконструировать по имеющейся «кости» — рукаву Киля — весь облик спирального узора нашей Галактики. Для начала повернем рукав Киля—Стрельца на 180

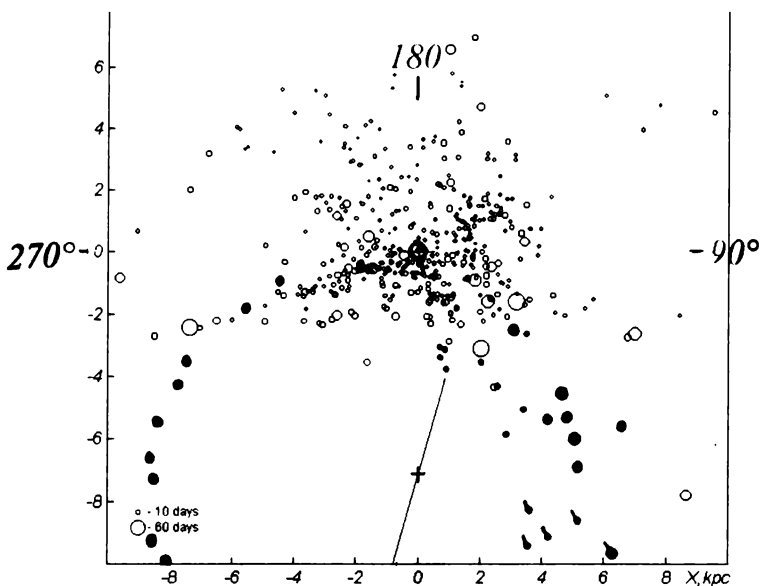


Рис. 6.8. Распределение сверхоблаков HI (зачерненные кружки) и цефеид (открытые кружки с диаметром, пропорциональным периоду) в плоскости Галактики. Солнце показано кружком с точкой. Прямая, проходящая через центр, указывает ориентацию и размеры бара Галактики.

градусов вокруг центра Галактики. Оказывается, что этот гипотетический симметричный рукав проходит чрез наблюдаемые газовые облака лишь далеко за центром Галактики; там вдоль него имеются и оптические трасеры. Наблюдаемый гораздо более четко и в оптическом, и в радиодиапазоне рукав Персея при этом должен соответствовать одному из симметричных спиральных рукавов из второй пары. Именно это и видно на рис. 6.9, на котором мы наложили построенный описанным выше образом план рукавов Галактики на сводную схему ее строения, построенную Ж. Валле.

Такая конфигурация совместима лишь с предположением, что наблюдаемый в оптике рукав Лебедя—Ориона с углом закручивания примерно в 20 градусов является лишь шпуром,

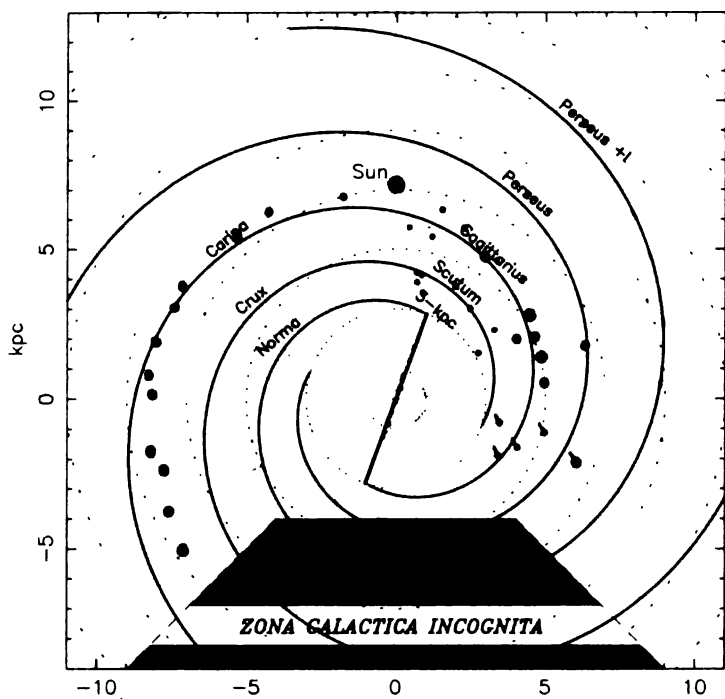


Рис. 6.9. Схема спиральных рукавов и бара Галактики по данным Ж. Валле, на которую наложено наблюдаемое положение сверхоблаков HI и их позиции (серые кружки) получаемые при повороте на 180 градусов вокруг центра Галактики. Пунктирные окружности проведены при расстояниях от центра 1, 3, 5, 7, 11 и 13 кпк. Галактика вращается по часовой стрелке, рукава закручиваются. Спиральные рукава названы по созвездиям, в пределах которых видны наиболее заметные относящиеся к ним объекты: Perseus (Персей), Carina-Sagittarius (Киль—Стрелец), Crux-Scutum (Крест—Щит), Norma (Наугольник).

отрогом рукава Киль—Стрелец. С этим согласуется наш вывод о том, что в этом рукаве нет концентрации более старых объектов, которая бесспорно имеется в рукаве Киль—Стрелец. Яркие молодые объекты остаются лучшими трасерами спиральных рукавов, но в волновых спиральных рукавах, являю-

щихся областями повышенного гравитационного потенциала, должны быть и старые скопления и цефеиды малых периодов 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 двух рукавов. Концы его находятся на расстояниях в 3—4 кпк от центра Галактики и от них, возможно, и отходят спиральные рукава (см. рис. 6.9). Возможное наличие другой пары рукавов между ними тогда может быть свидетельством существования и кольца, с диаметром, равным размеру бара — такого рода галактики наблюдаются.

Согласно Ж. де Вокулеру (Symp. IAU 84, 1979, p.203), галактика Млечный Путь относится к типу SAB(rs)bc II, масса ее $2 \cdot 10^{11}$ солнечных (без короны), светимость $M_B = -20.1$ (вид плашмя). Если мы верим в эту классификацию (и в наши рисунки 6.8 и 6.9), можно попытаться отыскать на небе галактику, максимально похожую на нашу. Мы следуем совету Б. Бока, который писал: «Астроному, который занимается изучением Млечного Пути и анализирует его спиральную структуру, следовало бы, по меньшей мере, раз в месяц тратить вечер на то, чтобы полюбоваться чудесами «Хаббловского атласа галактик». Это было бы в высшей степени полезно и каждому, интересующемуся астрономией».

К этим словам теперь можно добавить, что цветные изображения галактик, в изобилии имеющиеся ныне в Интернете, часто намного превосходят приведенные Сендиджем в его «Хаббловском атласе», даже если они получены на небольших инструментах — и тем более, если они получены на Хаббловском космическом телескопе.

Галактика, похожая на нашу отыскалась — это M109 (NGC 3992). Она классифицирована как SB(rs)bc, что означает наличие бара, сложную систему спиральных рукавов и умеренного размера балджа (размер его убывает от Sa через Sb к Sc). Впрочем, лучше всего еще раз взглянуть на саму галактику (рис. 6.3).

Если теперь привести ее изображение к виду «плашмя», зеркально отразить и масштабировать, оказывается, что ветвь Киля превосходно накладывается на самый мощный спиральный рукав М109 (угол закручивания которого, стало быть, тоже составляет 10–12 градусов) и при этом совпадают не только размер, но и ориентация бара.

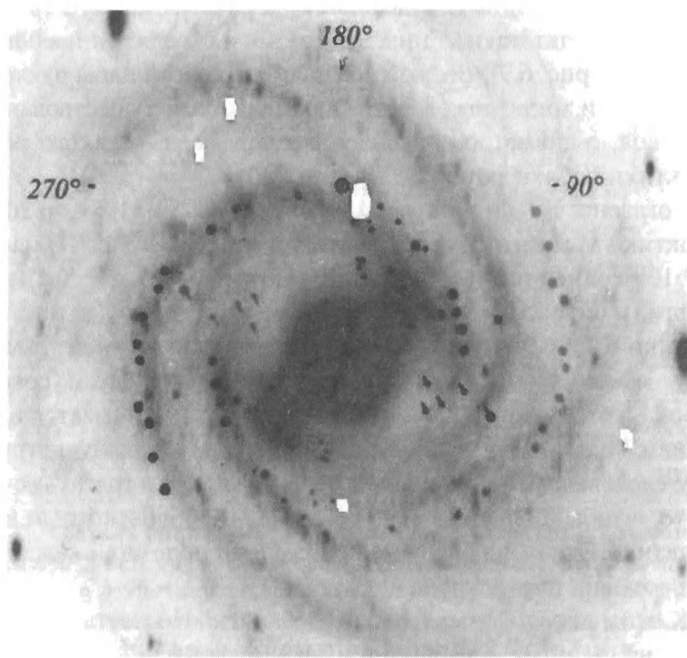


Рис. 6.10. Негативное изображение М109 (рис. 6.3) отражено зеркально, приведено к виду с полюса и на него наложен чертеж распределения сверхоблаков НІ в Галактике (рис. 6.8), к которому добавлен он же, повернутый на 180 градусов относительно центра. Положение бара М109 при наилучшем совпадении ее спирального рукава с рукавом Киля, обрисовываемым сверхоблаками НІ (слева) при этом оказывается средним из двух предельно возможных положений бара нашей Галактики (показаны прерывистыми линиями). Белые овалы — яркие звезды переднего фона, вытянутые при обработке изображения М109. Положение Солнца показано кружком, оно в центре координат (галактических долгот — 180 градусов в направлении на антицентр).

Единственным существенным отличием является квазирегулярность расположения звездно-газовых комплексов в рукаве Киля, отсутствующая в аналогичном ему рукаве М109, по крайней мере, в оптическом диапазоне. Можно утверждать, что рис. 6.10 является наиболее реалистичным отображением схемы устройства нашей Галактики. Близкое сходство *grand design* Млечного Пути и М109 можно понять; как показывают кривые вращения, масса и степень ее концентрации к центру близки у обеих галактик. Таких правильных галактик, как показано на рис. 6.9, просто не бывает; почти всегда один рукав выделяется своей длиной и правильностью, что мы и наблюдаем как в Галактике, так и в М109.

Достойна удивления близость размеров и ориентации бара относительно главной спиральной ветви в обеих галактиках. Теория должна сделать отсюда свои выводы. Присутствие бара у М109 может быть связано с ее членством в группе галактик Большой Медведицы, а у нашей Галактики — с наличием близких спутников — Магеллановых Облаков. Гравитационное воздействие соседей и тем более «поедание» более близких из них рассматривается сейчас как причина формирования бара и спиральной структуры. Можно только позавидовать астрономам туманности Андромеды и Магеллановых Облаков, для которых строение нашей Галактики начертано на их небесах...

Ядро Галактики

Еще не так давно мы не знали о нем ровно ничего. Данные оптической астрономии указывали положение центра Галактики с ошибкой около полутора градусов, 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 50-х годов в направлении галактического центра был обнаружен источник радиоизлучения, получивший

название Стрелец А, и были основания полагать, что он находится в самом ядре. Тогда положение его было определено с точностью до десятой доли градуса, 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, 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 — десять 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, 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 самом центре нашей Галактики нет. Зато не обнаружено радиоизлучения от ядра галактики Андромеды. Сейчас оно находится в состоянии покоя.

К 2003 г. получены убедительные свидетельства того, что в самом центре Галактики находится сверхмассивная черная

дыра. Аргументы почти неопровержимы, и значение этого вывода невозможно переоценить. Измерения собственных движений восьми 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 составляет лишь 15 лет. В 1999 г. другая звезда промчалась со скоростью 9000 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, позволит определить расстояние до центра Галактики намного точнее, чем позволяют классические методы. Предварительные данные дают значение около 8 кпк, что до половины килопарсека 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 и новых порций газа на диск, окружающий черную дыру, который, следовательно, не может быть больше размером, чем 10 световых минут — чуть больше астрономической единицы. Объект такой массы и размеров вряд ли может быть чем-либо иным, 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 в нем, как в М31 и М33. Еще чаще мы видим вокруг ядра газовые облака и бурное звездообразование — богатые молодые звездные скопления, как в нашей Галактике. Ряд галактик обладает

«активными» ядрами — показывающими яркие эмиссионные линии и признаки истечения вещества в спектрах. В центрах трех сотен галактик почти доказано существование черных дыр с массами до ста миллионов 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 их галактик; такие объекты известны как квазары.

От многих ядер на многие сотни килопарсек тянутся джеты, несущие огромную энергию (в конечном счете, это гравитационная энергия черных дыр, освобождающаяся в процессе аккреции новых порций газа на окружающий их диск). К счастью, ныне и в нашей Галактике и тем более в туманности Андромеды центральные черные дыры ведут себя относительно спокойно, и мощных выбросов из них нет. Вообще длинные джеты от ядер спиральных галактик наблюдаются очень редко. 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 килопарсеков.

Глава 7. БЛИЖНИЕ ГАЛАКТИКИ

Для того чтобы решить проблему, мы должны сначала прийти к пониманию, что она существует.

Ганс Селье

Местная группа

Туманность Андромеды и наша собственная Галактика — наиболее яркие и массивные члены небольшого скопления галактик, насчитывающего около 40 членов и известного под названием Местной группы. В этих двух системах заключено 90% общей массы скопления. Две трети членов Местной группы — карликовые эллиптические галактики вроде спутников М31 и систем в Скульпторе и Печи. В нее входит также небольшая спиральная галактика М33 в Треугольнике,

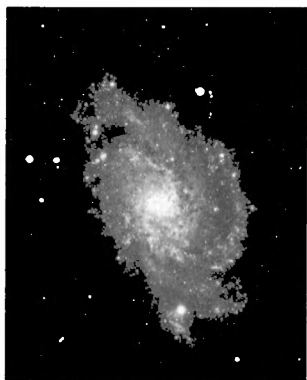


Рис. 7.1. Спиральная галактика М33 — туманность Треугольника.

несколько неправильных галактик — Магеллановы Облака, NGC 6822, IC 1613, IC 10, система WLM, и карликовые эллиптические галактики, число которых продолжает расти. Несколько новых спутников М31 — систем типа Скульптора (разреженных сфероидальных карликов) было обнаружено лишь несколько лет назад. Диапазон светимостей галактик Местной группы — от -20^m (М31) до -9^m (пекулярная эллиптическая галактика Лев II). Как и в мире звезд, подавляющее большинство населения Вселенной

— карликовые галактики, а видимое преобладание гигантов объясняется лишь их большой яркостью.

Карликовые галактики концентрируются вокруг М31 и нашей собственной Галактики, а от спиральной галактики IC 342, находящейся слишком далеко, чтобы считаться членом Местной группы и до системы WLM (Вольфа—Лундмарка—Мелота) тянется почти прямолинейная цепочка галактик. Эта цепочка является связующим звеном между Местной группой и группой М81, которая в свою очередь тянется в направлении скопления галактик в созвездии Девы. Такая филаментарная структура типична для распределения галактик во всей наблюдаемой Вселенной. Другие ближайшие к нам группы галактик находятся на Южном небе — группа Скульптора и группа М83, в которую входит известная радиогалактика Кентавр А.

Ближайшим к нашей Галактике ее спутником является карликовая эллиптическая галактика в Стрельце, открытая лишь в 1994 г. Расстояние до центра этого соседа всего лишь 24 кпк, и находится он за центром Галактики — этот сосед подошел к нам слишком близко, находится внутри нашей звездной системы и интенсивно разрывается ее приливными силами. Несколько шаровых скоплений Галактики сейчас считаются привнесенными в нее членами карлика Стрельца. Фактически его лучше считать деталью структуры нашей Галактики.

Магеллановы Облака

Из «настоящих» галактик нашими ближайшими соседями являются Магеллановы Облака — две небольшие, но еще не карликовые неправильные галактики на расстоянии 50 кпк (Большое Облако) и 60–70 кпк (Малое) от нас. Они видны на южном небе (см. рис. 4.1) как изолированные облака Млечного Пути.

Большое Облако, Малое Облако и Южный полюс лежат в вершинах равностороннего треугольника. Большое Облако было замечено еще арабскими астрономами, но Магеллановыми они называются потому, что в Европе стали

известны по описанию Пигафетты — спутника великого мореплавателя в первом кругосветном путешествии, который и дал им имя Магеллановых. Большое Облако имеет около 8 градусов в поперечнике, Малое — 4 градуса. Джон Гершель во время своего путешествия в 1838 г. на Мыс Доброй Надежды насчитал в Облаках несколько сотен отдельных звезд и десятки скоплений и туманностей. В 70-х годах прошлого века Аббе, директор Метеорологической службы США, анализируя данные Дж. Гершеля, пришел к выводу, что Магеллановы Облака, несомненно, являются ближайшей внегалактической системой, а не просто изолированными кусками Млечного Пути. Если бы они были спиральными галактиками, вопрос о природе спиральных туманностей был бы решен на 80 лет раньше.

Так или иначе, эти экзотические объекты, которые в то время очень мало кто из астрономов видел и знал, практически не участвовали в решении «великого спора». Между тем, прокалибровав в 1913 г. зависимость период—светимость для цефеид в абсолютных величинах, Герцшпрунг тогда же с помощью обнаруженных мисс Ливитт цефеид нашел расстояние Малого Облака; оно оказалось равным 33 000 световых лет. Это было наибольшим расстоянием, известным в то время. Заметим, кстати, что вторым по величине достоверным расстоянием было тогда расстояние Гиад (130 световых лет) — ближайшего рассеянного скопления...

Особую ценность исследования Магеллановых Облаков имеют, прежде всего, потому, что их размерами можно пренебречь в сравнении с их расстоянием и считать (с ошибкой, не превосходящей $0^m,1$), что разность видимых величин расположенных в Облаках объектов равна разности абсо-



Рис. 7.2. Малое Магелланово Облако и (справа) шаровое скопление нашей Галактики 47 Тукана.

лютных величин. Мы видели уже, что именно это обстоятельство привело к открытию зависимости период—светимость

для цефеид. В то же время Магеллановы Облака достаточно близки для детального изучения отдельных объектов в них, среди которых множество представляет выдающийся интерес и практически не известны в нашей Галактике. Проклятье астрономов — межзвездное поглощение света — мало мешает при исследовании Облаков; они находятся высоко над экваториальной плоскостью Млечного Пути, и луч зрения быстро выходит из слоя галактической пыли; в то же время поглощение света внутри Облаков невелико. Все это позволило Шепли назвать Облака мастерской астрономических методов — недаром в них была открыта зависимость период—светимость.

Несмотря на свою видимую хаотичность, оба Облака являются довольно плоскими образованиями. Это толстые вращающиеся диски, о чем говорят лучевые скорости входящих в Облака звезд и туманностей, а также и сравнение с неправильными галактиками, видимыми с ребра. Большое Магелланово Облако (БМО) мы видим почти с его полюса (угол его плоскости с картинной составляет около 30 градусов), а Малое Магелланово Облако (ММО), судя по лучевым скоростям областей НII и планетарных туманностей, состоит из двух проецирующихся друг на друга подсистем, отделенных расстоянием в несколько килопарсеков.

Звездные скопления Большого Облака

Массивное вытянутое тело перемиčky (бара), образованное мириадами слабых звезд, группировки ярких голубых звезд, окутанные газовыми туманностями, и множество звездных скоплений — вот что сразу же бросается в глаза на фотографиях БМО (рис. 7.3). В баре концентрируются самые старые из молодых звезд — цефеиды (с возрастом до 150 млн. лет), лишь у ее западного конца встречаются молодые скопления, которые вместе с ОВ-ассоциациями собраны в огромные комплексы, а иногда образуют компактные группы (рис. 7.3).

Количество звездных скоплений в БМО фантастически велико; сейчас их известно около 1600, в полтора раза больше.

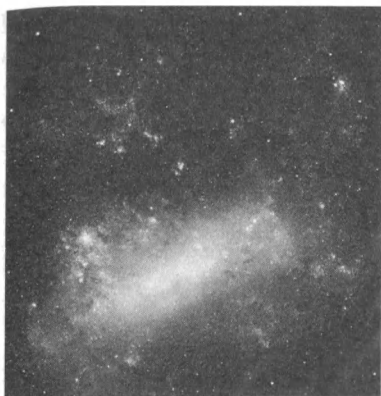


Рис. 7.3. Большое Магелланово Облако. Гигантские звездные дуги видны на северо-востоке (слева вверху).

нем составляет 5000—6000. Ярчайшие звезды скоплений имеют самый разный блеск, и это означает, что и возраст скоплений самый разный.

И что всего удивительнее — среди шаровых скоплений БМО многие очень молоды. Мы привыкли понимать под шаровыми скоплениями сильно концентрирующиеся к центру старые круглые скопления из сотен тысяч звезд. Все они — в нашей Галактике — имеют очень характерную диаграмму цвет—светимость, и ярчайшими их звездами являются красные гиганты — потомки звезд главной последовательности (ГП) с массой около 0,8—1,0 солнечной. Вид диаграммы — отсутствие верхней части ГП — говорит об очень большом возрасте этих скоплений.

А вот в БМО много скоплений, которые не отличишь по внешнему виду от шаровых и которые, тем не менее, молоды. Эти скопления лучше разрешаются на звезды в синих лучах, и это может означать только то, что среди ярчайших звезд таких скоплений много голубых. По светимости голубые шаровые скопления не уступают обычным красным, но массы их несколько меньше.

чем мы знаем пока в окрестностях Солнца. Среди них есть дюжина старых классических шаровых скоплений, уступающих лишь богатейшим скоплениям Галактики, и едва различимые туманные пятнышки бедных скоплений. Большие рефлекторы с их малым полем не применялись пока для исчерпывающих поисков скоплений в Облаках, но изучение с их помощью небольших участков БМО показывает, что полное число скоплений в

Лучший пример таких скоплений — NGC 1866 в северной части БМО, о котором рассказывалось в главе 4. Долгое время считалось, что такого рода скопления составляют особую специфику Магеллановых Облаков.

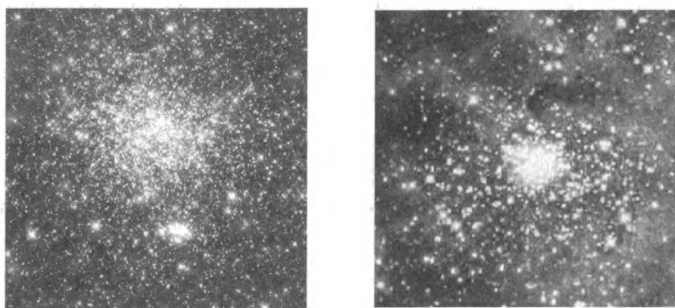


Рис. 7.4. Скопления БМО.

а) NGC 1850, б) NGC 2070, находящееся в центре Тарантула.
Изображения получены на HST.

Интегральная фотометрия более ярких скоплений M31, полученная С. Ван ден Бергом в 1981 г. позволила выявить лишь семь скоплений, показатели цвета и светимости которых такие же, как у голубых — шаровых скоплений БМО. Правда, нельзя пока сказать, являются ли они столь же компактными, как шаровые скопления. Рядом с одним из них, третьим по яркости среди всех скоплений туманности Андромеды и еще более голубым, чем NGC 1866, находится цефеида H40 с периодом в 34 дня, наверняка физически связанная со скоплением.

Почти нет таких скоплений и в нашей Галактике. Новые исследования подтвердили старое заключение шотландских астрономов Реддиша, Лоуренса и Пратта о том, что аналогом голубых шаровых скоплений Магеллановых Облаков в нашей Галактике является ОВ-ассоциация Лебедь II (Лебедь OB2). Они нашли, что помимо нескольких десятков ОВ-звезд, которые только и были раньше известны (что и заставляло считать эту звездную группировку ассоциацией), здесь присутствуют не менее 3000 звезд ярче 20^m (в красных лучах). Очень боль-

шое поглощение света затрудняет исследования скопления; его размеры — 29 на 17 пк, примерно такие же, как и у богатых скоплений БМО, а полная масса его может достигать 10^5 масс Солнца.

Вторым молодым скоплением Галактики, компактность и большая масса которого позволяет классифицировать его как шаровое скопление, является NGC 3603, расположенное на расстоянии около 7 кпк в спиральном рукаве Киля. Его ядро даже более плотное, чем в центральном скоплении туманности 30 Золотой Рыбы в БМО. Недавно открыто и третье — точнее говоря, исследования в ИК-диапазоне показали, что давно известное скопление Westerlund 1 очень богато массивными молодыми звездами. Несколько молодых скоплений обнаружены в пылевых облаках близ центра Галактики, но они недостаточно компактны, чтобы называться шаровыми; приливные силы центра обрекают их на скорое распыление.

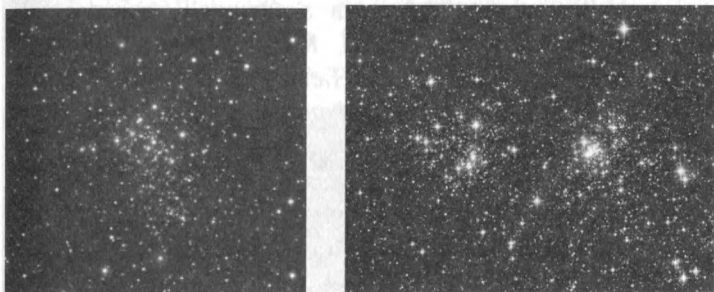


Рис. 7.5. Скопления Галактики.

а) Westerlund 1, изображение получено в ИК-диапазоне.

б) Двойное скопление η и χ Персея.

Заметим, что такое скопление нашей Галактики, как η и χ Персея, гораздо беднее молодых шаровых скоплений БМО, хотя и сравнимо с ними по светимости (рис. 7.5). Высокая светимость η и χ Персея объясняется тем, что сейчас в этом очень молодом скоплении сравнительно много очень ярких голубых и красных звезд. Когда возраст этого скопления приблизится к возрасту NGC 1866, наше скопление останется далеко позади по светимости.

Однако в последние годы, в основном благодаря наблюдениям на телескопе Хаббл, скопления еще более массивные и молодые, чем голубые шаровые скопления БМО, в изобилии открыты во взаимодействующих галактиках — иногда в количестве нескольких сотен. Найдены они и в центральных областях ряда спиральных галактик. Иногда они встречаются и в карликовых галактиках с активным звездообразованием. Большое количество молодых шаровых скоплений во взаимодействующих галактиках согласуется с гипотезой их происхождения при сближении газовых облаков, повышении давления в газе, которое ведет к интенсивному и эффективному звездообразованию. Как рассказывалось в главе 3, самые массивные из них в последнее время получили неудачное название сверхскоплений, — до этого ранга скопления БМО не дотягивают.

По всей видимости, темп звездообразования не всегда был таким, ибо сейчас в нем доля газа по отношению к полной массе в несколько раз больше, чем в Галактике. Во всяком случае, там явно не было первоначальной вспышки звездообразования, во время которой в нашей Галактике родились звезды населения II и старые классические шаровые скопления. Таких скоплений в БМО всего дюжина, их классификация и возраст подтверждается наличием в них звезд типа RR Лиры. Однако в отличие от Галактики, эти скопления располагаются в диске БМО; короны из старых звезд в БМО по-видимому нет.

Сверхассоциация 30 Золотой Рыбы

ОВ-ассоциации, группы ярких голубых звезд, почти всегда окруженные эмиссионными туманностями, разбросаны по всему Большому Облаку. Люкке и Ходж насчитали их 122, и диаметр их заключен в пределах 15–150 пк (в среднем 78 пк). Наибольшие группировки ярких звезд были выделены Х. Шепли еще в 1953 г. под названиями «созвездий»; средний их диаметр 225 пк, вообще же он считал ассоциации просто большими рассеянными скоплениями. Наиболее известным примером такой группировки является «созвездие» ранних

150

звезд вокруг яркой туманности Тарантул (или Петля), названной так из-за своей замысловатой паукообразной формы; в центре туманности находится массивное скопление, включающее О-звезды. Именно эта группировка рассматривалась Бааде и Амбарцумяном как первый образец сверхассоциации. На ее юго-западной окраине вспыхнула в 1987 г. первая после 1604 г. сверхновая, видимая невооруженным глазом (см. главу 4).

Скопление NGC 2070 в центре Тарантула является, очевидно, самым молодым из скоплений массивных звезд, доступных для детального изучения; его возраст около 3 млн. лет (см. рис. 7.4). Оно видно лишь в тех длинах волн, на которых не излучает обволакивающая его гигантская эмиссионная туманность, которая видна даже невооруженным глазом как диффузная звезда, обозначенная как 30 Золотой Рыбы (30 Doradus). Она близка по блеску к туманности Ориона, хотя находится примерно в 100 раз дальше и, значит, светимость ее выше в $100^2 = (2,512)^{10}$ раз. Так что на том же расстоянии Тарантул был бы на 10^m ярче туманности Ориона: он светил бы ярче Венеры и занимал бы собой все созвездие Ориона!



Рис. 7.6. Эмиссионная туманность Тарантул, свечение ионизованного водорода в которой возбуждается горячими звездами скопления NGC 2070, скрывающимися в центре туманности. У левого края рисунка — молодое богатое скопление NGC 2100.

В центре скопления Тарантула находится яркий объект, который по каталогу Радклифской обсерватории носит обозначение R136; он на 2^m ярче всех звезд скопления, в спектре его имеются признаки и звезды класса О и Вольфа—Райе одновременно. Истинная природа R136 была одно время предметом споров. Первые попытки разрешить R136 интерференционными методами были неудачны и привели к предположению, что это единый объект с массой около 3000

масс Солнца. Однако теоретический предел для массы устойчивых звезд составляет около ста солнечных. И действительно, данные спекл-интерферометрии показали в 1985 г., что объект состоит не менее чем из восьми компонентов; оказалось даже, что R136 давно внесен и в каталоги двойных и кратных звезд. Теория восторжествовала.

Помимо R136, в NGC 2070 находится еще 12 звезд типа Вольфа–Райе и еще 8 в его короне, тогда как во всем БМО известна 101 звезда этого типа — на площади в тысячу раз большей! Это самые массивные и горячие звезды; в нашей Галактике лишь скопление Westerlund 1 соперничает с NGC 2070 по количеству звезд этого типа. Однако в нашем скоплении слишком велико поглощение света. Изучение NGC 2070 имеет исключительное значение для понимания закономерностей образования и ранней эволюции звезд больших масс. Оно, в частности, показывает, что и в богатых молодых скоплениях распределение звезд по массам такое же, как и в обычных скоплениях и что имеются и звезды малых масс.

Вопреки первоначальным ожиданиям теории динамической эволюции скоплений, многие из наиболее массивных звезд NGC 2070 находятся в короне скопления; возможно, эти звезды были выкинуты из его ядра в результате динамического взаимодействия звезд при их близких прохождении. В нескольких более старых скоплениях БМО цефеиды также находятся в коронах, а в других — примерно того же возраста — показывают резкую концентрацию к центру скопления. Цефеиды — самые проэволюционировавшие и, следовательно, самые массивные члены скоплений. Теория, учитывающая влияние сближения массивных звезд на динамическую эволюцию скоплений, начинает развиваться.

Загадка звездных дуг

Некоторые астрономы считают, что в Большом Облаке можно различить зачатки спиральной структуры; во всяком случае, в БМО нейтральный водород определенно ее обна-

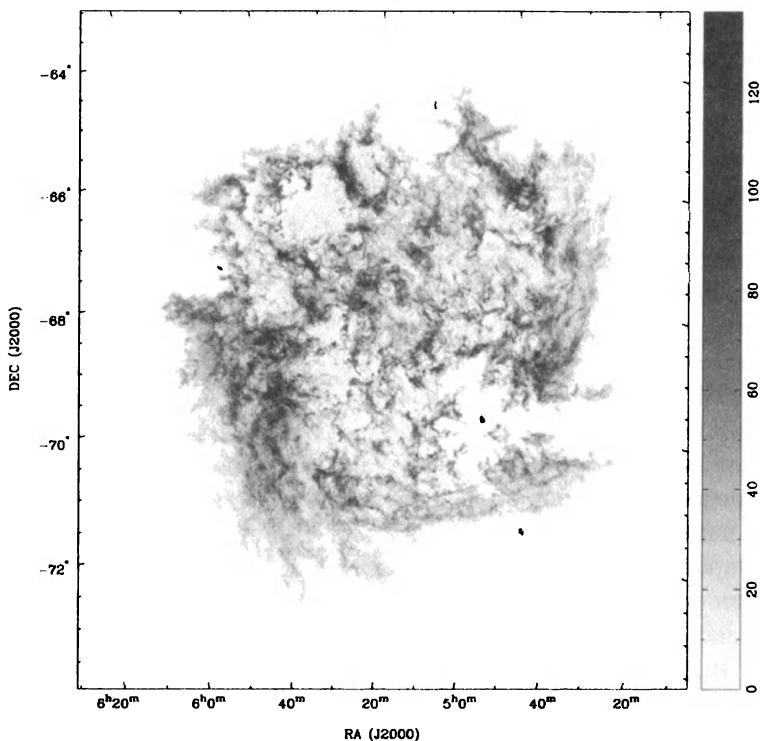


Рис. 7.7. Распределение нейтрального водорода в БМО (по данным С. Ким). Сверхоболочка LMC4, окружающая область, свободную от HI, находится на северо-востоке галактики (в левом верхнем углу); дуга Квадранта — в середине этого пузыря.

руживает — а также и многочисленные «пузыри» — пустоты, называемые обычно сверхоболочки. Их образование приписывают воздействию горячих звезд и сверхновых на окружающий их газ. Наибольшая из таких сверхоболочек находится на северо-востоке БМО и известна как LMC4.

В этой области давно известны удивительные структуры: две гигантские дуги, образованные звездами высокой светимости и молодыми скоплениями. Может быть реальной и еще одна менее четкая дуга большего размера в этой же области (рис. 7.8). Самую заметную из этих дуг отметили

Вестерлунд и Матьюсон еще в 1966 г.; они связали происхождение и дуги и всей водородной полости LMC4 с взрывом гипотетической Сверх-Сверхновой, сославшись на работу Шкловского, предположившего возможность их существования. Первым обратил внимание на другие дуги в этой области П. Ходж в 1967 г.; он также говорил о возможности их образования в результате сверхмощного взрыва. И с тех пор в течение 30 лет никто не интересовался природой и происхождением этих странных звездных комплексов, хотя область LMC4 активно исследовалась.

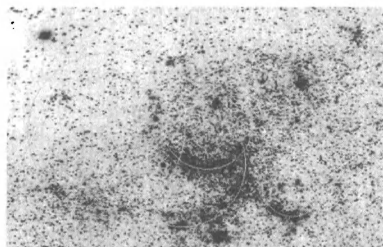


Рис. 7.8. Гигантские звездные дуги в БМО являются частями правильных окружностей. Дуга Квадранта в центре, Секстанта — справа внизу. Дуга под центром рисунка не является реальной, поскольку возрасты входящих в нее скоплений сильно отличаются. Размеры трех других дуг тем больше, чем больше их возраст.

В 1998 г. автор и Б. Эльмегрин предложили гипотезу образования гигантских звездных дуг из сверхоболочек газа, нагребённого давлением из центра. Внутри двух наиболее четких дуг (которым мы дали название Квадранта и Секстанта) вроде бы можно указать небольшие скопления, которые могли в свое время содержать О-звезды и Сверхновые. Их давление могло создать газовые оболочки, из которых затем образовались звезды. Радиус кривизны Квадранта около 300 пк, он содержит и скопления и отдельные звезды; радиус Секстанта — около 200 пк; он, в сущности, обрисовывается пятью скоплениями и их коронами.

Если эта гипотеза верна, на более ранней стадии эволюции, до начала звездообразования, дуги должны были наблюдаться как газовые оболочки, содержащие близ центра кривизны породившее их звездное скопление. Энергии одиночных О-звезд или сверхновых для создания оболочек таких размеров не хватает. Газовые оболочки и сверхоболочки с диаметром

до 1–2 кпк многочисленны в галактиках, однако центральных скоплений в них обычно не видно. В нашей Галактике К. Хейлес обнаружил в 1979 г. 11 сверхгигантских оболочек без видимых звездных группировок внутри. Рассматривая проблему их происхождения, Хейлес заключил, что «...агент, ответственный за их происхождение, может быть новым неизвестным видом астрономических объектов». Однако большинство теоретиков до последнего времени полагало, что для таких заявлений ныне нет оснований. Проблема считается давно решенной, но это не так.

По возрасту и размерам сверхоболочки можно сказать, каковы должны быть параметры скопления, которое могло бы ее породить, и тем самым проверить «стандартную модель» происхождения сверхоболочек. В 1999 г. К. Роуд и ее коллеги провели тщательные поиски скоплений внутри сверхоболочек Н1 в неправильной галактике Но II. Только внутри 6 из 44 сверхоболочек они нашли скопления, характеристики которых (возраст и количество членов) совместимы с предположением, что они могли эти сверхоболочки породить.

Стандартная модель не срабатывает, по крайней мере, во многих случаях. Была предложена и другая идея — падение на диск галактик больших газовых облаков, столкновение которых с газом в галактической плоскости дает достаточную энергию для возникновения сверхоболочек. Однако близ ряда галактик с гигантскими сверхоболочками таких облаков нет. В данных об Н1 вокруг оболочки LMC4 указания на следы падения массивного облака отсутствуют.

Звездные дуги в БМО остаются загадкой. Если они образовались вокруг весьма бедных звездных группировок, то почему же отсутствуют подобные правильные структуры где-либо еще — и, прежде всего в самом БМО, где известно множество более богатых скоплений подходящего возраста. И почему же все дуги, известные в БМО, сгруппировались в пределах 1 кпк друг от друга? В рамках гипотезы образования из газовой оболочки, нагребённой центральным давлением, совершенно непонятно, почему такие дуги столь редкие образования. Систематические

поиски во многих галактиках привели к обнаружению лишь дюжины отчасти похожих структур, и лишь пара из найденных дуг приближается к Квадранту и Секстанту по совершенству формы. А в едва ли не единственном случае, в галактике IC2574, где в центре сверхоболочки находится скопление с подходящими характеристиками, а окружающие скопления заметно моложе, они беспорядочно разбросаны, а не располагаются по дуге окружности.

Тем не менее, гипотеза о происхождении звездных дуг из газа сдвинутого центральным источником давления представлялась единственно возможной. Необходимо было объяснить, что это за источники, если подходящих скоплений в центрах дуг нет, и почему они все расположены поблизости друг от друга. В 1998 г. автор предположил, что невидимыми ныне источниками центрального давления, которые могли нагрести газовые оболочки, породившие звездные дуги, были гамма-всплески. Тогда считалось, что энергия взрывов, порождающих гамма-всплески, может быть на три—четыре порядка больше, чем у обычных сверхновых звезд, и это объяснило бы отсутствие центральных скоплений в сверхоболочках.

Старая идея о сверхмощных взрывах, породивших звездные дуги, казалась с открытием гамма-всплесков хорошо обоснованной. Однако если это так, остается необходимость объяснить, почему все три гамма-вспышки, имевшие место в Большом Магеллановом Облаке за последние примерно 30 миллионов лет (об этом говорит возраст скоплений в старейшей дуге) происходили в одной и той же области, неподалеку друг от друга.

Естественно было предположить наличие в этой области какого-то общего источника, в котором могли бы возникать предки гамма-вспышек, объекты, дальнейшая эволюция которых дает это явление. Таким общим источником предков гамма-всплесков могло бы быть достаточно богатое звездное скопление, в котором они могли возникнуть — и затем его покинуть. У нейтронных звезд или черных дыр такая возможность имелаась. Возникновение тесных двойных, включающих

нейтронные звезды, при сближениях звезд в плотном скоплении, и возможность их ухода из скопления при дальнейших сближениях с другими звездами скопления неоднократно рассматривалась при изучении рентгеновских двойных звезд.

Если эта идея верна, неподалеку от звездных дуг должно быть богатое и плотное скопление. И такое скопление есть, всего лишь в нескольких десятках минут дуги, т.е. в нескольких сотнях парсек от звездных дуг. Это NGC 1978, возраст которого около 2 млрд. лет. Оно самое яркое и, следовательно, самое богатое из всех скоплений такого возраста в Большом Магеллановом Облаке. По своему богатству, массе и плотности оно заслуживает название шарового, но классические шаровые скопления старше примерно на 10–12 млрд. лет. Скопления такого типа — чрезвычайно редкие образования, в нашей Галактике, например, их нет совсем.

Более того, рядом с этим скоплением, всего в 18', находится еще один весьма необычный объект — и заведомый родственник гамма-всплесков! Это SGR 0526-66, единственный в БМО *Soft Gamma Repeater*, источник повторяющегося излучения мягких гамма-лучей. Он был обнаружен 5 марта 1979 года на орбитальном гамма-телескопе, созданном астрофизиками Ленинградского физико-технического института им. Иоффе, и после долгих споров был признан членом БМО. Решающую роль сыграло то обстоятельство, что объект находится внутри яркого молодого остатка сверхновой, N49. Сейчас в нашей Галактике известно пять или шесть подобных объектов и считалось, что все они связаны с молодыми остатками сверхновых. В последнее время эта связь оспаривается, но зато выясняется, что они могут быть связаны с молодыми компактными скоплениями. По всей видимости, «мягкие гамма-повторители» — какие-то родственники объектов, порождающих обычные гамма-всплески.

Само гамма-излучение с межзвездной средой взаимодействует слабо, но оно, скорее всего, сопровождает вспышки необычных, высокоэнергичных сверхновых, часто называемых гиперновыми. В нескольких случаях в кривых угасания

«послесвечения» видны особенности, характерные для сверхновых. Однако все наблюдения до 9 мая 2005 г. относились к «длинным» гамма-всплескам, продолжительность которых больше 2 секунд.

Возникновение звездных дуг может быть связано не с самим гамма-всплеском, а с воздействием на межзвездную среду джетов от звездных остатков сверхновых. Пример объекта SS433 показывает, что после вспышки некоторых сверхновых остается двойная система, компактный компонент которой аккрецирует вещество от соседа и выбрасывает длинные узкие струи плазмы, движущейся с субрелятивистскими скоростями. Такие объекты получили название микроквазаров. Как обнаружили в 1998 г. Дж. Дабнер и др., прецессирующие струи, воздействуя на межзвездную среду в течение примерно 10 000 лет, прошедших после вспышки сверхновой, успели образовать вокруг SS433 полость с размером около 100 пк. Аккреция и выброс струй плазмы может продолжаться еще несколько миллионов лет, и в результате может появиться гигантская газовая оболочка, в которой может пойти процесс звездообразования. Огромные газовые туманности, с размерами порядка 300–400 пк, недавно обнаружены вокруг объектов, называемых ультраяркими рентгеновскими источниками (ULX), которые могут быть родственниками микроквазаров.

Сейчас в нашей Галактике известно два десятка микроквазаров. В БМО они пока не обнаружены, но активная стадия, на которой эти объекты действительно напоминают крошечные квазары, у большинства из них кратковременна и рекуррентна; в промежутках они выглядят как обычные рентгеновские двойные звезды. Да к тому же в Галактике на два–три порядка больше звезд, чем в БМО.

И вот оказалось, что рентгеновские двойные в БМО концентрируются вблизи NGC 1978. Трудно отделаться от впечатления, что все странности этой области каким-то образом связаны с наличием в ней же уникального скопления. Эта гипотеза не нравится серьезным специалистам, но, как мы видели, и другие объяснения странных звездных дуг не годятся.

В отчаянии автор выдвинул в 2003 г. еще одну, вполне уже сумасшедшую гипотезу. Она исходит из того, что форма и размеры звездных дуг близки к таковым у концов гигантских джетов, наблюдаемых в радиодиапазоне у некоторых галактик и многих квазаров; известны они и у двух спиральных галактик, причем в NGC4258 они быют под большим углом к оси вращения галактики. Способность областей высокого давления в газе у концов таких джетов порождать звезды наблюдается и в этой галактике и в Кентавре А. Можно предположить, что ныне почти спокойное ядро Галактики 5–7 и 15–20 миллионов лет назад (таков возраст дуг Квадранта и Секстанта) испускало мощный джет и он бил в направлении БМО. Сталкиваясь с газом БМО, рабочая поверхность джета могла создать условия, подходящие для звездообразования в сегментах сферических поверхностей, какими являются дуги БМО (рис. 7.9).

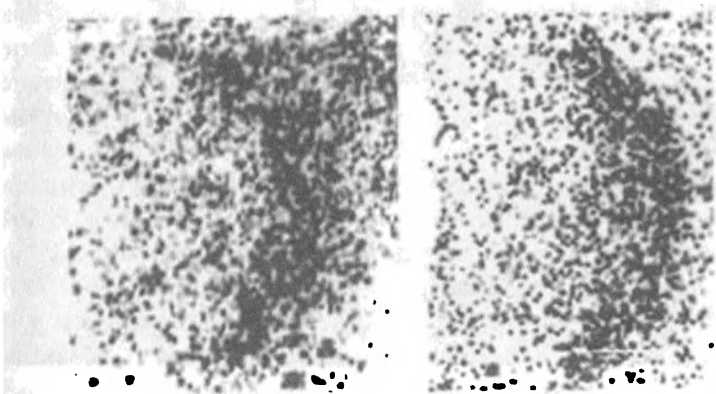


Рис. 7.9. Дуга Квадранта (слева) и ее модель — сегмент сферического слоя из случайных точек, рассматриваемый сбоку, на фоне случайно разбросанных точек.

Требуемая длина джета, не менее 50 кпк, невелика для такого рода образований. Эта гипотеза плоха только тем, что не видно путей ее проверки...

После написания 12 мая 2005 г. этих слов выяснилось, что исполнилась тридцатилетняя мечта астрономов — 9 мая 2005 г. было впервые обнаружено послесвечение гамма-всплеска с

длительностью меньше 2 секунд. Гамма-всплеск (GRB 050509B) имел длительность всего 0,03 секунды. Такая кратковременность исключает связь этого всплеска с взрывом массивной звезды; более того, он вспыхнул на окраине эллиптической галактики, в которой не может быть молодых массивных звезд. GRB 050509B мог возникнуть только при слиянии двух компактных объектов, нейтронных звезд или черных дыр, что возможно лишь при возрасте их прогениторов несколько миллиардов лет. Возраст скопления NGC 1978 около 2 млрд. лет.

Означает ли это праздничное событие победу моей идеи о виновности гамма-всплесков (теперь надо говорить только о коротких гамма-всплесках) в образовании уникальных звездных дуг? Во всяком случае, теперь ясно, что прогениторы именно коротких гамма-всплесков действительно могут рождаться в (старых, но не очень) звездных скоплениях и затем их покидать. Чтобы образовать звездные дуги, остатки таких гамма-всплесков должны порождать длительно действующие прецессирующие джеты, стимулирующие звездообразование при воздействии на газовые облака. Против этой гипотезы может говорить примерно одинаковая ориентация всех трех дуг — но эта одинаковость согласуется с гипотезой о воздействии мощного интерментного джета издалека — из ядра нашей Галактики. Впрочем, известны и джеты из ядер радиогалактик, бьющие на полтора мегапарсека...

Если обе эти гипотезы не годятся, то система гигантских звездных дуг в БМО остается самым загадочным объектом Вселенной. По крайней мере, ближней Вселенной.

Туманность Андромеды

Галактика Андромеды (M31) — единственная на северном небе, видимая невооруженным глазом. Без всяких приборов можно увидеть объект, находящийся на расстоянии 2 300 000 световых лет. Многие и многие яркие сверхгиганты туманности Андромеды, рассыпанные вдоль ее спиральных ветвей, на самом деле уже погасли. Мы видим M31 такой, какой она была

в те времена, когда на древе эволюции только-только появилась почка, давшая начало его вершине — человечеству.

Плоскость М31 наклонена к лучу зрения (угол между ними составляет всего лишь около 15°) и это сильно мешает расшифровке ее структуры. На фотографиях туманности видны как будто спиральные ветви; можно проследить их направление, но если отметить эмиссионные туманности (их известно около 1000), исправив их положение за наклон галактики, как это сделал Х. Арп, то окажется, что большинство областей HII расположено по окружности диаметром около 10 кпк. Такая же картина возникает на изображениях М31, полученных на орбитальном телескопе GALEX (рис. 7.10) в далекой ультрафиолетовой области, в которой излучают лишь горячие, и значит молодые звезды.

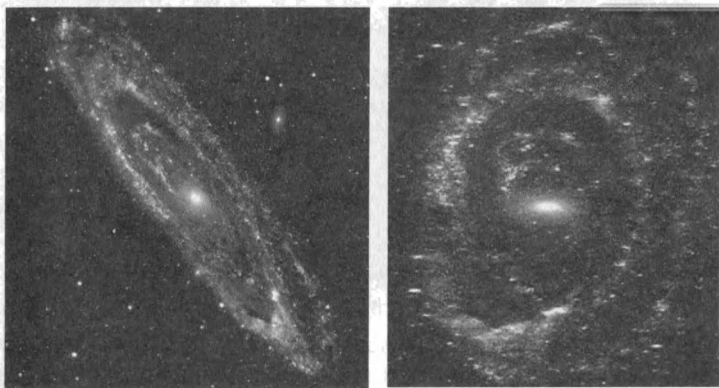


Рис. 7.10. Изображение М31 в далеком ультрафиолете, полученное на орбитальном телескопе Галекс.

а) вид на небе, север вверху, восток справа.

б) то же изображение, приведенное к виду с полюса галактики («плашмя»).

Представляется даже, что HII и молодые звезды, помимо окружности, показывают отходящие от нее два коротких раскручивающихся спиральных рукава.

Возможно, что плоскость галактики сильно искривлена, и нельзя приводить ее изображение к виду «плашмя» с единым

углом наклона ее плоскости к лучу зрения. Во всяком случае, сравнение рис. 6.10 и 7.10 показывает, что М31 не так похожа на нашу Галактику, как это обычно думают. Одно распределение цефеид в обеих галактиках похоже — они концентрируются к спиральным рукавам, хотя и не так сильно, как более молодые звезды и тем более области НII. Данные о цефеидах М31, полученные В. Бааде и его сотрудниками, являются наиболее полными до сих пор; они показывают так (рис. 7.11), что отсутствие цефеид ближе к центру Галактики (см. рис. 6.8) может быть отчасти реальным, а не связано лишь с большим поглощением света.

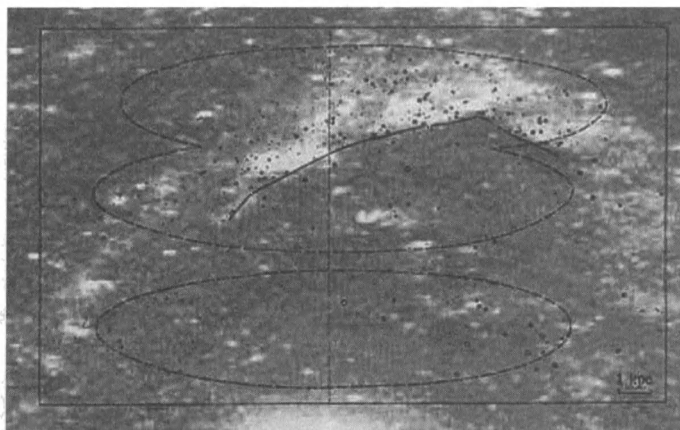


Рис. 7.11. Распределение в плоскости М31 цефеид, изученных в трех полях Бааде (границы которых показаны пунктиром), на фоне соответствующего (юго-западного) участка рис. 7.10б.

Центр галактики внизу, на продолжении ее большой оси и близ нижней границы рисунка.

На фотографиях М31 (рис. 5.1), помимо спиральных ветвей бросаются в глаза четыре области, выделяющиеся своей яркостью, — это центральная область галактики, два ее эллиптических спутника (М32 и NGC 205), а также яркое звездное облако NGC 206=OB 78, находящееся в юго-западной части галактики. Спиральная ветвь S4, в которой находится звездная ассоциация OB 78=NGC 206, и две соседние внутренние ве

в южной стороне М31 отклоняются в сторону М32 — Бааде считал, что этот спутник туманности Андромеды оказывает приливное влияние на ее спиральные ветви. Впрочем, на наш взгляд, сдвиг точки поворота рукава S4 к югу от большой оси галактики объясняется тем, что угол закручивания данного отрезка рукава необычно велик.

Звездные населения

Яркая центральная область М31, несмотря на все усилия Хаббла, не разрешалась на звезды, и в 1929 г. он еще считал возможным, что она состоит из газа, который только на периферии туманности сконденсировался в звезды — в духе господствовавших тогда воззрений Джинса на природу спиральных галактик. Спутники туманности Андромеды — карликовые эллиптические галактики — вели себя так же, как и ядро туманности. Внешние части ближайших спиралей, как и неправильные галактики, разрешить на звезды со 100-дюймовым телескопом не составляет труда — впервые это сделал еще Ричи с 60-дюймовым рефлектором; но все эллиптические галактики оставались не разрешенными.

Многие считали, что это объясняется различиями в составе звездного населения — отсутствием в центральной части М31 и в ее спутниках звезд очень высокой светимости. Впрочем, еще в конце 1920-х годов и Джинс, и Хаббл считали, что балджи галактик могут состоять из плотного газа. Проблема разрешения центральной области М31 на звезды долго казалась безнадёжной, однако в 1942 г. Вальтер Бааде (1893—1960) заметил, что на снимках, полученных при наилучших изображениях, в ядерной области туманности можно усмотреть признаки разрешения на звезды.

К началу Второй мировой войны Бааде, работавший на Маунт Вилсон с 1929 г., все еще не оформил себе американское гражданство и поэтому ему было запрещено менять место жительства. Он не очень-то об этом жалел, потому что многие астрономы обсерватории Маунт Вилсон были призваны в

армию или загружены работой над военными проектами, и 100-дюймовый телескоп оказался почти в безраздельном его владении. К тому же в Лос-Анджелесе, огромном соседнем городе, была введена светомаскировка, и экспозицию даже в синих лучах можно было доводить до 90 минут. Бааде очень хорошо это использовал.

Было, однако, ясно, что достичь успеха с обычными пластинками невозможно. Единственный шанс состоял в использовании пластинок, чувствительных к красным лучам, на которых фон неба становился заметным только за 8–9 часов экспозиции. Целый год, с осени 1942 г., тянулись приготовления. И в августе–сентябре 1943 г. Бааде разрешил на звезды центральную часть М31, а вскоре и оба ее спутника.

Полученные Бааде снимки оказались усыпанными десятками тысяч красных звезд — и сразу же встал вопрос, что же это за звезды? Конечно, это гиганты, но гиганты, типичные для рассеянных скоплений и фигурирующие на обычной диаграмме Герцшпрунга–Рессела, имеют светимость около 0^m . Таких слабых звезд Бааде, безусловно, не мог получить на своих пластинках в 1943 г. Не сразу вспомнил он, что существуют и красные гиганты, на 3^m более яркие, — это звезды шаровых скоплений. Только с ними и можно было отождествить звезды, появившиеся на его снимках. Уверенность в этом окрепла, когда Бааде разрешил на звезды и карликовые эллиптические галактики NGC 147 и NGC 185, находящиеся от нее в 12 градусах. Одинаковость лучевых скоростей этой пары и М31 позволяла считать их далекими спутниками туманности Андромеды, что и было подтверждено Бааде. Светимость NGC 147 и NGC 185 существенно меньше, чем у М32 и NGC 205. Это — промежуточное звено между близкими спутниками М31 и совсем карликовыми галактиками в Скульпторе и в Печи, найденными Шепли в 1938 г.

Галактика в Скульпторе, по описанию Шепли, представляет собой рой очень слабых звезд диаметром в $75''$; самые яркие звезды имеют блеск $17^m,8$. Похожа на эту систему галактика в Печи, но ее звезды еще слабее. На небольших астрографах

такие звезды остаются за пределами пластинки, и эти галактики исчезают бесследно — зато как туманные пятнышки они получаются с помощью мелкомасштабных камер.

От эллиптических галактик они отличаются малой плотностью звезд и меньшим размером. Хаббл и Бааде обнаружили в системах Печи и Скульптора звезды типа RR Лиры; как и в шаровых скоплениях, они оказались на $1^m,5$ слабее ярчайших звезд. Таким образом, от шаровых скоплений к спутникам туманности Андромеды протягивалась непрерывная цепочка, и это окончательно убедило Бааде, что красные звезды на его пластинках центральной области M31 — гиганты, аналогичные гигантам шаровых скоплений.

Радикальное отличие звездного населения эллиптических галактик и ядра туманности Андромеды от населения ее внешних частей и окрестностей Солнца привело Бааде в 1944 г. к выводу о существовании двух типов звездного населения, характеризующихся двумя типами диаграммы цвет—светимость. Население II имеет диаграмму, типичную для шаровых скоплений; звезды этого типа (и только этого) населяют как шаровые скопления, так и эллиптические галактики, и, наряду с населением I, центральные области спиральных галактик. Население I, с обычной диаграммой цвет—светимость — это население рассеянных скоплений, окрестностей Солнца, спиральных ветвей галактик. Население I концентрируется к плоскости вращения спиральных галактик, население II — к их центру. Это очень хорошо видно на фотографиях спиральных галактик, видимых с ребра (см. рис. 6.1).

Вводя концепцию звездных населений, Бааде отметил, что, по сути дела, ту же корреляцию между пространственным распределением и физическими свойствами звезд нашей Галактики Оорт заметил еще в 1926 г. Деление звезд и скоплений Галактики на три системы с различной степенью концентрации к ее плоскости было в 1933 г. предложено Боттлингером.

В 1943 г. Б. В. Кукаркин на основе изучения пространственного распределения переменных звезд разбил население Галактики на плоскую, промежуточную и сферическую

составляющие; различие их кинематики детально исследовал П. П. Паренаго. Затем выяснилось, что в объектах населения II (сферической составляющей) содержание тяжелых элементов на один—два порядка меньше, чем в Солнце и других звездах населения I. Среди объектов населения II нет молодых; они образовались на стадии сжатия сфероидальной газовой протогалактики и сохранили пространственное распределение и кинематику этого газа; объекты населения I образовались, когда газ уже осел к диску и обогатился тяжелыми элементами, поступающими в межзвездную среду при взрывах сверхновых. В диске есть и очень старые звезды, но сохранился еще и газ, в местах наибольшей плотности которого (в спиральных рукавах) продолжается звездообразование и сейчас.

Таким образом, разрешение на звезды центральной части туманности Андромеды утвердило плодотворную концепцию звездных населений, но, как позже вспоминал Бааде, — смешная сторона ситуации состояла в том, что после всех этих усилий оказалось, что необходимости в них не было. Галактики в Скульпторе и Печи были описаны Шепли как новый тип звездных систем, но их населяли такие же звезды, как звезды шаровых скоплений. С другой стороны, это были карликовые эллиптические галактики, исследовав которые, мы, в сущности, уже знали, из чего состоят эллиптические галактики. И, тем не менее, говорит Бааде, «понадобился трудный обходный маневр, прежде чем блеснул свет истины». Более того, ведь резкие отличия диаграмм шаровых скоплений от обычной диаграммы цвет—светимость были установлены Шепли еще в конце десятих годов XX в. У всех шаровых скоплений ярчайшими звездами были красные гиганты, светимость которых росла с увеличением показателя цвета. И хотя Лундмарк и другие отмечали сходство структуры и цвета шаровых скоплений, эллиптических галактик и ядер спиральных галактик, никто до Бааде не связал все эти факты воедино и не сопоставил их с «аномалиями» диаграмм шаровых скоплений.

Но меньше всего надо упрекать астрономов прошлого. Множество каких-то разрозненных фактов и по сей день ждет

объединения в обобщающих концепциях; по мере накопления данных масса фактов становится выше критической и возникает понимание... Сейчас понятие населений I и II многие астрономы считают устарелым. Все гораздо сложнее, и во многих галактиках имеются объекты с промежуточными характеристиками. Однако для таких почти изолированных галактик как Млечный путь и М31, оно по-прежнему полезно. Во всяком случае, наиболее выраженные объекты обоих населений резко отличаются всеми своими характеристиками. Скажем, практически не бывает молодых объектов с очень низким содержанием тяжелых элементов (исключения встречаются лишь в компактных карликовых галактиках, которые могут быть действительно недавно образовавшимися объектами) и уж совсем не бывает очень старых звезд с высоким содержанием «металлов».

Закономерности, связывающие возраст, кинематику и химический состав звезд нашли объяснение в теории эволюции звезд и галактик. Важное новое развитие состоит, однако, в нарастающем понимании того, что галактики, в отличие от звезд и звездных скоплений, не являются изолированными системами и во многих случаях носят следы взаимодействия с соседями. Многие астрономы даже полагают, что гигантские эллиптические галактики являются результатом слияния нескольких спиральных. Нормальное (характерное для населения I) содержание тяжелых элементов в центральных областях многих эллиптических галактик также может быть результатом слияния галактик.

Концепция звездных населений хорошо описывает результаты эволюции изолированной галактики, но следы аккреции карликовых галактик, и даже полупереваренные карлики наблюдаются и в нашей Галактике, и в М31, где звездные населения диска и гало четко различаются по многим характеристикам. Последнее, впрочем, не относится к балджам галактик, которые являются, очевидно, смесью звезд разных возрастов и химического состава. К центрам галактик в конце концов «спускаются» поглощенные ими жертвы.

По всей видимости, в галактиках всех типов возраст старейших звезд одинаков. Это важнейшее для космогонии и космологии заключение, сделанное В. Бааде много лет назад, на наш взгляд остается справедливым. Бааде исходил из закономерной экстраполяции свойств Местной группы галактик на всю Вселенную — везде, где хватает проникающей силы 5-метрового телескопа, он мог обнаружить старые звезды населения II (однозначно об этом говорит присутствие звезд типа RR Лиры и с меньшей уверенностью — красных гигантов). Возможным исключением могут быть некоторые компактные голубые карликовые галактики. Межгалактические газовые облака известны и эти галактики могут быть результатом звездообразования в них, стимулированного сближением с другими галактиками. Проверка утверждения о почти одновременном образовании нормальных галактик на заре эволюции Вселенной чрезвычайно важна.

Глава 8. ЭВОЛЮЦИЯ ГАЛАКТИК

Мир познанный есть искажение мира,
И человек недаром осужден
В святилищах устраивать застенки,
Идеи обжигать на кирпичи,
Из вечных истин строить казематы
И вновь взрывать кристаллы и пласты,
И догматы отстойной культуры:
Познание должно окостенеть
Чтоб дать жерло и направление взрыву.

Максимилиан Волошин

Эллиптические галактики

Как ни красивы спиральные галактики, ключ к проблеме происхождения и эволюции галактик лежит скорее в эллиптических. Они, казалось бы, должны быть старше других галактик, поскольку в них почти нет газа, и состоят они почти исключительно из старых звезд, однако столь же старые звезды есть практически во всех не карликовых галактиках. Сразу же подчеркнем, что дискуссии о том, превращаются ли спиральные галактики в эллиптические или наоборот, которые шли в 1930—40 гг. давно уже стали беспочвенными; различия масс и момента вращения у галактик разных типов показывают, что никакого эволюционного смысла Хаббловской классификации галактик придать нельзя.

В Местной группе нет больших эллиптических галактик, но они главенствуют во многих скоплениях, являясь самыми массивными их членами. Галактики этого типа не блещут красотой — обычно это просто гигантские сгущения старых звезд населения II, распределенные в эллипсоидальных объемах; помимо размеров и массы, они обычно отличаются только степенью сплюснутости и концентрации звезд к центру. Долгое время считалось, что газ в них отсутствует. Ближайшая к нам

большая эллиптическая галактика NGC 5128 — она же радио-галактика Кентавр А — казалась редким исключением. Она пересечена темной полосой пыли, в которой содержатся яркие области звездообразования (рис. 8.1).

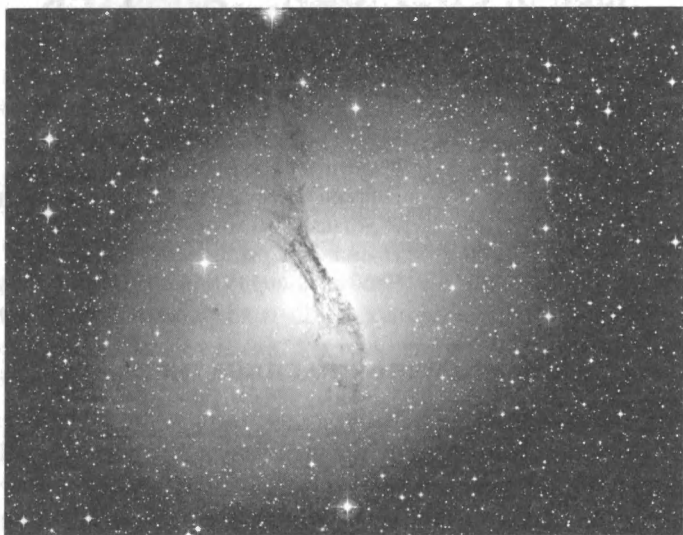


Рис. 8.1. Эллиптическая галактика NGC 5128 (Кентавр А).

Объяснение было предложено много лет назад — здесь мы наблюдаем свежий результат слияния эллиптической и спиральной галактики. На наш взгляд, это скорее эллиптическая галактика с тесно ее облегающим полярным кольцом. Если эта гипотеза верна, кривое кольцо пыли и молодых звезд должно вращаться вокруг большой оси эллиптической галактики. Такого рода случаи известны, например NGC 2685 и NGC 4650A, но там кольца уходят намного дальше от тела эллиптической (или, скорее, линзовидной, S0) галактики. Так или иначе, это результат тесного сближения двух галактик. Богатые звездные скопления различного возраста и облака газа и пыли обнаружены и в классической эллиптической галактике NGC 1316, ярчайшем члене скопления галактик в созвездии Печи (рис. 8.2). Ныне все большее распространение

получает гипотеза о том, что все вообще гигантские эллиптические галактики являются продуктом давнего слияния спиральных галактик.

С 1960-х годов господствовала концепция «монолитного коллапса», которую предложили Линден-Белл, Сендидж и Эгген на основе данных о взаимосвязи кинематики, возрастов и пространственном распределении объектов нашей Галактики. В сфероидальной газовой протогалактике первоначально образовывались шаровые скопления и другие объекты населе-



Рис. 8.2. Эллиптическая галактика NGC 1316 (Печь А).

ния II; ее вращение и столкновения газовых облаков приводили к оседанию газа в диск, в котором только и продолжается звездообразование в настоящее время. В рамках этих представлений эллиптические галактики получаются из медленно вращавшихся газовых протогалактических облаков, а менее массивные спиральные галактики — из быстро вращавшихся протогалактик. Момент вращения и масса исходного газового облака казалось, предreshали, галактика какого типа из него сформируется. Эту концепцию хорошо иллюстрирует рис. 8.3, много лет назад сделанный Х. Арпом.

Особенности структуры и кинематики спиральных галактик эта схема, в общем, объясняет, но дело в том, что эллиптические галактики практически вообще не вращаются как целое, все их звезды и скопления двигаются вокруг центра в разных направлениях по вытянутым орбитам самых разных ориентаций. Иными словами, общий момент вращения, в отличие от дисковых систем, у них мал, а исходное облако должно было вращаться, пусть и медленно. Куда же подевался момент вращения у эллиптических галактик?

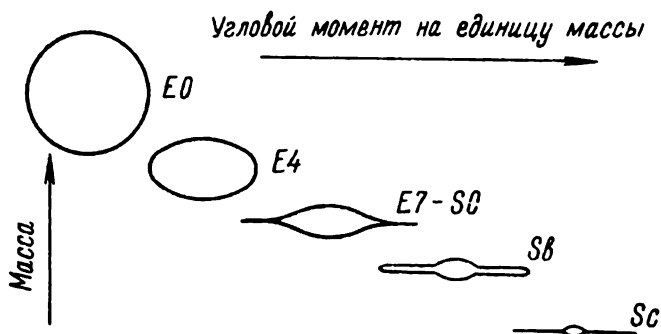


Рис. 8.3. Схема Арпа, показывающая связь между массой галактики, ее типом и скоростью вращения.

Объяснение дает гипотеза, предполагающая, что эллиптические галактики образуются в результате слияния двух (или больше) дисковых галактик. В результате вместо плоской быстро вращающейся системы мы получаем эллипсоидальную галактику с медленным общим вращением. Столкновений звезд при этом не происходит (сравните размер Солнца, 109 диаметров Земли, и расстояние до ближайшей звезды, около 210 000 а.е.), но появление второго центра масс резко меняет их движения, происходит увеличение дисперсии скоростей звезд (т.е. хаотизация их орбитальных движений). Газовые же облака сталкиваются; повышение плотности газа приводит к активному звездообразованию сначала во всем объеме итоговой галактики, а затем только в ее центре, куда оседает газ, потерявший момент при столкновении облаков. Концентрация газа в центре появится даже при большом различии масс слившихся галактик; в этом случае итоговая галактика останется спиральной, но с разного рода странностями, вроде противоположного вращения внешних и центральных областей.

Эта точка зрения подтверждается все более многочисленными свидетельствами того, что следы прошлых слияний и поглощений меньших галактик обнаруживаются в каждой хорошо изученной галактике. Пойманная тяготением

Млечного Пути галактика, как мы видели, есть даже внутри нашей собственной звездной системы, казалось бы, вполне изолированной. Действительно, расстояния между галактиками малы сравнительно с их размерами; до галактики Андромеды, например, лишь около 15 диаметров нашей Галактики, а до соседней группы галактик вокруг М81 — около 60. Что же говорить о галактиках в тесных группах, где они почти соприкасаются, в результате чего возникают самые причудливые формы, как например в Квинтете Стефана (рис. 8.4).



Рис. 8.4. Участок Квинтета галактик Стефана. Изображение получено на HST.

Однако на масштабах галактик они слишком малы — тут управляет гравитация, а не магнитная газодинамика. Лобовое столкновение центральных областей галактик, например, считается ответственным за возникновение странных кольцообразных галактик.

Имеются и конкретные факты, которые подтверждают гипотезу образования эллиптических галактик при слиянии дисковых систем. В спиральных галактиках возрасты шаровых скоплений и других объектов сфероидальной системы заключены в узких пределах, — в нашем Млечном Пути примерно от 10 до 13 млрд. лет — они образовались в самом начале оседания газа к диску. В последние годы в ряде эллиптических галактик обнаружены подсистемы массивных («шаровых») скоплений с большим и часто дискретным разбросом возрастов — эти

Раньше же, на более ранних стадиях расширения Вселенной, эти явления «мержинга» должны были быть обычными; при этом возникают самые причудливые формы. Б.А. Воронцов-Вельяминов, составивший в 1958 г. первый атлас взаимодействующих галактик, даже полагал, что многие из них нельзя объяснить одной только силой гравитации и упо-

скопления явно унаследованы от исходных галактик, слившихся и породивших эллиптическую. Далее, в центрах практически всех эллиптических галактик и линзовидных галактик (типа S0 — это диски, не обнаруживающие спиральной структуры) найдены в последние годы быстро вращающиеся компактные газовые диски разной ориентации и с размером не более килопарсека.

О. К. Сильченко и В. Л. Афанасьев с помощью 6-метрового телескопа САО РАН нашли, что во всех исследованных ими галактиках таких типов эти диски являются и химически выделенными — они обогащены тяжелыми элементами (индикаторами которых являются магний и железо), образующимися в недрах звезд и поступавших в межзвездную среду при взрывах сверхновых. Это бесспорное указание на то, что близ центров эллиптических галактик шло активное звездообразование.

Все указывает на то, что в центрах эллиптических и линзовидных галактик (последние можно считать предельно уплощенными эллиптическими) есть газ, попавший туда в результате динамического взаимодействия галактик. Он питает аккреционные диски вокруг сверхмассивных черных дыр, и это объясняет, почему именно от ядер эллиптических, а не спиральных галактик часто исходят гигантские джеты заряженных частиц, обнаруживаемые по их синхротронному радиоизлучению.

Джеты из ядер галактик

Более старым продуктом слияния галактик является, очевидно, M87 = NGC 4486 — пыли в ней уже не видно, весь газ сосредоточен в центре. Эта галактика расположена близ центра скопления галактик в созвездии Девы и намного массивнее всех других членов скопления. Она известна также как мощный радиоисточник Дева А. Галактика окружена самой большой из известных системой шаровых скоплений, включающей около 10 000 членов — сравните с полутора раза шаровыми скоплениями в нашей Галактике (рис. 8.5).

Из ядра М87 вырывается голубой короткий джет, обнаруженный нашим знакомым Кертисом еще в 1919 году. Его фотография впервые показала проявление «активности» ядра галактики, что было осознано лишь сорок лет спустя. В 1954 г. И. С. Шкловский объяснил свечение этого джета продолжением спектра синхротронного излучения (возникающего при быстром движении электронов в магнитном поле), наблюдающегося в радиодиапазоне, в оптическую область. Это была та же идея, которая пришла ему в голову в марте 1953 г. как объяснение оптического свечения Крабовидной туманности, но масштабы явления и его энергетика были на несколько порядков больше. И. С. Шкловский отметил необходимость наблюдений поляризации света от джета NGC 4486, наличие которой доказало бы правильность гипотезы. Спустя несколько месяцев В. А. Амбарцумян сообщил ему, что наблюдения на Бюраканской обсерватории поляризацию не обнаружили. Тем не менее, в 1956 г. В. Бааде сумел на 5-м рефлекторе обнаружить поляризацию в каждом из «узлов» джета, и при этом оказалось, что направление вектора поляризации в соседних узлах отличается примерно на 90 градусов. Понятно, что наблюдения всего джета с малым разрешением показали нулевую поляризацию.

Заметим в порядке отступления, что именно естественное предположение о том, что поляризация света различна в разных участках Крабовидной туманности, газового остатка Сверхновой 1054 г., заставляло И. С. Шкловского в 1953 г. полагать, что наблюдения (с недостаточным разрешением) не смогут проверить его гипотезу о синхротронной природе



Рис. 8.5. Эллиптическая галактика М87 (Дева А), окруженная шаровыми скоплениями. Короткий оптический джет невидим, он глубоко внутри этого изображения галактики.

оптического излучении Краба. В своих воспоминаниях (1982 г.) он совершенно четко об этом пишет, хотя раньше в силу какой-то аберрации памяти говорил о своем предсказании поляризации для Краба. Умолчание о том, что в воспоминаниях И.С.Шкловского вся история изложена совершенно правильно, говорит о том, что аберрация памяти — распространенное явление...

Возвращаясь к M87, скажем, что И.С.Шкловский объяснил в 1974 г. и односторонность выброса из ее ядра, воспользовавшись развитой Р.Рисом теорией синхротронного излучения для случая расширяющихся с релятивистскими скоростями источников. Если ось выброса сгустков намагниченной плазмы (т.е. ось вращения центрального объекта) составляет небольшой угол с лучом зрения, то в силу релятивистских эффектов направленный в нашу сторону выброс будет выглядеть ярче. Эти эффекты позднее были привлечены для объяснения сверхсветовых скоростей разлета компактных компонентов некоторых радиогалактик.

Синхротронное излучение, вызванное заряженными частицами, двигающимися с субсветовыми скоростями в магнитных полях, ответственно как за оптическое свечение некоторых джетов, узких выбросов из ядер галактик, так и за их радиоизлучение, наблюдающееся гораздо чаще.

Обилие газа в самых центральных областях гигантских эллиптических галактик, очевидно, объясняет, почему именно они являются самыми мощными радиоисточниками. Так, радиогалактика Лебедь А (ее номер в Атласе Воронцова—Вельяминова — VV72), изображенная на рис. 8.6. и обнаруженная еще на заре радиоастрономии, в конце 1940-х годов, на метровых волнах лишь в несколько раз уступает Солнцу, хотя расположена на расстоянии около 340 Мпк, дальше Солнца в $340\,000\,000 \times 206\,265$ раз — нужно возвести произведение этих чисел в квадрат, чтобы оценить, насколько больше мощность радиоизлучения у Лебеда А, чем у Солнца... Знакомый нам В.Бааде, наведя 5-метровый рефлектор на этот источник, обнаружил крошечную двойную галактику, и тогда же родилась

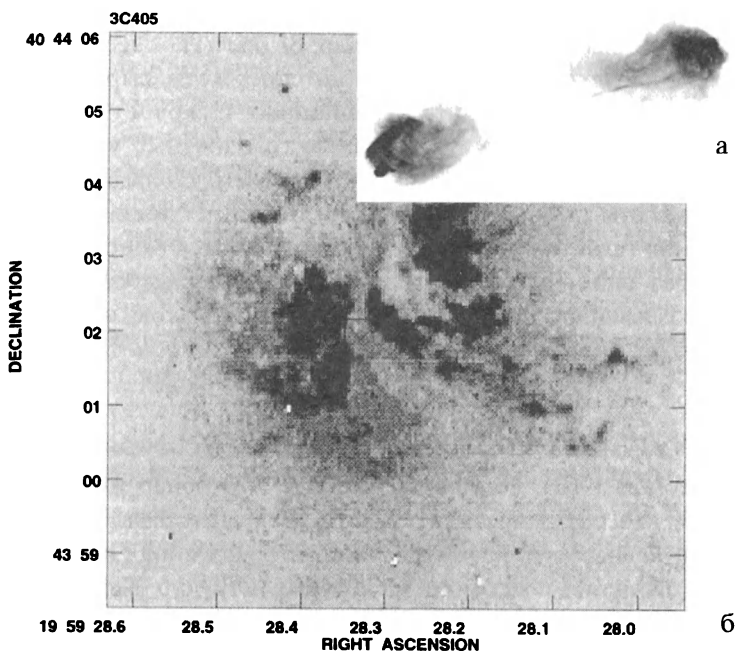


Рис. 8.6. Галактика VV 72 (Лебедь А):

- а) синхротронное излучение на длине волны 6 см. Расстояние от ядра галактики до конца джета — около 80 кпк;
 б) оптическое изображение, полученное на HST.

гипотеза о том, что мы наблюдаем явление столкновения галактик. В.А.Амбарцумян выступил против этой гипотезы, считая столкновения галактик слишком невероятным событием, и сформулировал в 1958 г. идею об особой космогонической роли ядер галактик и выбросе из них вещества — повторяя по существу идею Джинса о происхождении спиральных рукавов галактик. (Эти взгляды до сих пор отстаивают астрономы первой величины — Х.Арп и Дж. Бербидж; придерживался их и покойный Ф.Хойл).

Здесь снова и снова мы видим исторически неизбежное переплетение верных и неправильных идей в рамках одной гипотезы. Ядра галактик действительно особые точки — но не

излияния вещества, а стягивания его к аккреционному диску вокруг сверхмассивных черных дыр. Выбросы из ядер действительно наблюдаются — но это гигантские джеты, вырывающиеся из полюсов вращения аккреционных дисков и тянущиеся иногда на мегапарсеки! Это самые грандиозные унитарные объекты, известные во Вселенной. (Впрочем, у Лебедя А, VV72, радиоджеты тянутся всего лишь на 160 кпк). Столкновения и слияния галактик действительно наблюдаются — но Лебедь А как раз одиночная галактика с бурным звездообразованием, разделенная полосами газо-пылевых облаков, наподобие Кентавра А (см. рис. 8.6).

История квазаров

Весной 1963 г. астрономы решили, что обнаружен целый новый класс космических объектов. Открытие было тем более удивительным, что на многих обсерваториях мира с конца XIX века хранились пластинки, на которых нетрудно было увидеть ярчайшие из этих объектов. Предпосылкой открытия квазаров послужила увеличившаяся разрешающая способность радиотелескопов. Долгие годы точность определения координат и угловых размеров объектов, излучающих радиоволны, была очень невелика. Однако еще в 70-х годах техника преодолела эти преграды, и сейчас радиотелескопы могут работать синхронно на противоположных концах земного шара и образуют интерферометры с базисом в десятки тысяч километров. Их разрешающая сила на три порядка превосходит возможности наземных оптических телескопов.

История квазаров начинается с 1960 г., когда две 27-метровые антенны Калифорнийского технологического института в долине Оуэне, составляющие в паре друг с другом радиоинтерферометр, начали измерения координат источников радиоизлучения, внесенных в Третий Кембриджский каталог (3C). Точность определения координат достигла 5" и было обнаружено, что некоторые источники имеют очень малые угловые размеры.

26 сентября 1960 г. Т. Метьюз и А. Сендидж сфотографировали на 200-дюймовом телескопе область неба, содержащую один из таких источников — 3С 48. К их удивлению, в пределах прямоугольника ошибок координат, в этой области не было никаких объектов, кроме звезды $16^m, 2 V$. Правда, вокруг были следы слабой небольшой туманности, но объект выглядел безусловно звездобразным.

22 октября 1960 г. Сендидж получил спектр объекта — необычная комбинация широких эмиссионных линий в этом спектре не поддавалась идентификации. Показатели цвета 3С 48 также были необычны, они соответствуют горячим белым карликам и бывшим Новым звездам — очень горячим объектам с ультрафиолетовым избытком.

В декабре 1960 г. Сендидж сообщил о результатах первых оптических наблюдений 3С 48 на 107 заседании Американского астрономического общества. Проверая гипотезу, по которой 3С 48 является звездным остатком вспышки Новой или даже Сверхновой («первой настоящей радиозвездой»), Х. Смит и Д. Хоффлейт просмотрели коллекцию пластинок Гарвардской службы неба за 1897—1958 гг. и не обнаружили сколько-нибудь заметных колебаний блеска объекта, частых у бывших новых звезд. Наиболее вероятным казалось, что это нейтронная звезда — остаток сверхновой звезды. В китайских летописях нашли даже «звезду-гостью», вспыхнувшую в 1688 г. не далее как в десяти градусах от 3С 48... Напомним, что первые настоящие нейтронные звезды — пульсары — были обнаружены лишь в 1967 г.

К 1962 г. Сендидж и Метьюз отождествили со звездобразными объектами источники радиоизлучения 3С 196 и 3С 286. Здесь, как и в случае 3С 48, единственным объектом, совпадающим в пределах ошибок координат с источником, была звезда 17^m ; показатели цвета были такими же, как и у первой «радиозвезды». Не поддающийся интерпретации спектр оставался загадкой, но кто знал, какой спектр может быть у остатка сверхновых! Ведь и интерпретация спектра самой вспышки сверхновой I типа тогда еще вызывала ожесточенные споры.

Решающим стал 1963 г., после того как К. Хазард, М. Маккей и А. Шиминс с рекордной для того времени точностью определили координаты источника радиоизлучения 3С273, используя покрытие его Луной. Оказалось, что он двойной, с расстоянием между компонентами в 19" и диаметром каждого источника меньше 10". Они нашли, что один из компонентов источника совпадает со звездой 13^m. Молодой голландский астрофизик Маартен Шмидт на обсерватории Маунт Паломар получил спектр 3С273, в котором опять оказались непонятные эмиссионные линии. Он-то и догадался, что эти линии можно отождествить с самой обычной бальмеровской водородной линией, если только допустить красное смещение, равное 0,158. 16 марта 1963 г. Шмидт послал заметку об этом в «Нейчур». Но тогда эта «звезда» должна быть очень и очень далеко за пределами Галактики, а ее светимость в 100 раз больше, чем у гигантских галактик!

«Тем вечером, — вспоминал позднее Маартен Шмидт, — я пришел домой, не веря сам себе. "Нечто совершенно неправдоподобное случилось со мной сегодня", — сказал я жене». Но правильность отождествления линий, предложенного Шмидтом, сразу же была доказана Дж. Оуком, который нашел в инфракрасном спектре 3С273 линию Н в точности на том месте, где она должна быть с предложенным Шмидтом значением красного смещения. Слово было произнесено, и теперь Т. Метьюз и Дж. Гринстейн легко отождествили линии в спектре 3С48, для чего им пришлось допустить красное смещение $z = 0,367$.

В начале марта 1963 г. ГАИШ был взбудоражен препринтами этих работ, полученных И. С. Шкловским. По его совету А. С. Шаров и автор этих строк начали измерять блеск 3С273 на пластинках Московской обсерватории, и первое же их сравнение со старым фотографическим атласом неба Вольфа—Пализы показало, что объект, без сомнения, изменяет блеск. Всего у нас нашлось с полсотни пластинок, полученных в 1896—1960 гг., и оказалось, что блеск объекта изменяется в пределах 12^m,0—12^m,7. 9 апреля 1963 г. мы направили

сообщение об этом в Информационный бюллетень Комиссии переменных звезд Международного астрономического союза, а вскоре получили препринт статьи Х. Смита и Д. Хоффлейт, посланный в «Нейчур» тоже 9 апреля. Они оценили около 600 пластинок, полученных в Гарварде с конца прошлого века, и обнаружили изменения среднего блеска с амплитудой $0^m,6$ и циклом около 10 лет. Они нашли также и заметную переменность блеска в течение нескольких дней. Отсюда следовало, что и сам размер объекта должен быть порядка световых дней, точнее говоря, таковы должны быть размеры области, эффективно излучающей в оптическом диапазоне. Иначе колебания блеска, возникающие в разных частях объекта, усреднялись бы. Эта простая и бесспорная оценка верхнего предела размеров 3C 273 в нашей статье отсутствовала, но ее дал покойный Ф. А. Цицин сразу же после нашего доклада об открытии переменности блеска этого объекта.

Метьюз и Сендидж написали статью об отождествлении со звездообразными объектами радиоисточников 3C 196 и 3C 286 еще в 1962 г., но они успели дать в корректуре примечание о внегалактической природе этих объектов. К концу года было известно девять объектов этого рода, а затем, когда стало ясно, по каким признакам их можно искать, хлынул поток открытий; к 1967 г. было найдено уже около 150 квазизвездных источников радиоизлучения (*quasistellar radio source*, QSS). Очень скоро их стали называть сокращенно квазарами; года два этот термин боролся с названием «сверхзвезда» (*hyperstar*) и победил его, ибо название «сверхзвезда» подразумевало определенную интерпретацию явления, с которой далеко не все соглашались...

Итак, квазары — звездообразные объекты, являющиеся сильными источниками радиоизлучения, обладающие избытком излучения в ультрафиолетовой, и, как выяснилось позднее, инфракрасной области спектра, на которую приходится большая доля энергии, излучаемой квазарами. Спектр содержит широкие линии излучения, всегда сильно смещенные в красную сторону. Большинство, а может быть, и все квазары

изменяют блеск, у некоторых амплитуда доходит до 3^m и больше. У квазара 3C 279 амплитуда составляет почти 7^m и в максимуме блеска это самый яркий объект Вселенной, его абсолютная величина $M_B = -31,4$! Таковы наблюдательные факты. Интерпретация их зависела, прежде всего, от того, на каких расстояниях находятся квазары.

Главным аргументом, убедившим почти всех астрономов в том, что красные смещения квазаров имеют космологическую природу (т.е. обусловлены их большими расстояниями и расширением Вселенной), является то, что многие их характеристики наблюдаются и у галактик; между квазарами и галактиками есть непрерывный переход. Сходство спектров сейфертовских галактик и квазаров И.С. Шкловский отметил сразу же после их открытия; на этом пути и была решена проблема квазаров. В спектрах ядер сейфертовских галактик наблюдаются широкие эмиссионные линии, указывающие на движение больших масс газа. Похоже и распределение энергии в спектре. Характеристики радиоизлучения и поляризации света квазаров и галактик мало отличаются друг от друга. Мощные потоки инфракрасного излучения наблюдаются как от квазаров, так и от ядер сейфертовских радиогалактик.

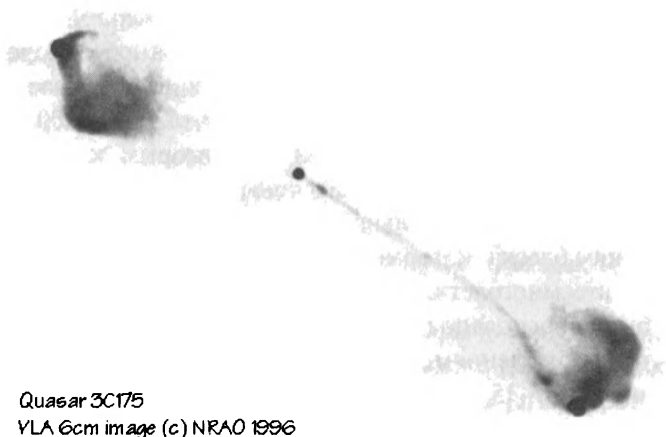
Понимание того, что квазары — это просто галактики с аномально активными ядрами давно уже стало почти всеобщим. Еще в 1973 г. Дж. Кристиан обнаружил, что во всех случаях, когда, судя по красному смещению квазара, окружающую его галактику должно заметить при прямом фотографировании, она действительно видна, точнее говоря, в этих случаях квазар окружен на снимке туманным ореолом. Еще в 1982 г. в «туманности», окружающей 3C 48, были обнаружены линии поглощения кальция, типичные для звезд класса A7.

Доказательством космологических расстояний квазаров является и обнаружение их в скоплениях галактик с тем же значением красного смещения. Это трудная задача, поскольку квазары на $2-5^m$ ярче даже самых ярких галактик скоплений, так что вокруг квазаров с большим красным смещением трудно увидеть скопление; после ряда попыток это удалось сделать

в 1978 г. В 13 из 25 случаев тесного соседства квазара со слабыми галактиками А. Стоктон нашел для них одинаковое красное смещение — вероятность случайного совпадения не превышает одного шанса из миллиона.

Квазары — активные ядра галактик

Явления, наблюдаемые в активных ядрах галактик и квазарах, на много порядков отличаются по выделяемой в них энергии, но они сходны между собой по морфологии (резкая концентрация светимости в области, не превышающей тысячные доли парсека в поперечнике, гигантские джеты в радиодиапазоне), характеристикам спектра и переменности блеска.



Quasar 3C175
VLA 6cm image (c) NRAO 1996

Рис. 8.7. Квазар 3C 175 — синхротронное излучение на волне 6 см.

Почти все астрономы считают теперь, что ответственной за все эти явления «центральной машиной» может быть вращающийся вокруг сверхмассивной черной дыры аккреционный диск, поглощающий оседающий к центру газ и выбрасывающий узкие плазменные струи в направлении оси вращения.

Черной дырой называют замкнутую в себе область пространства, образовавшуюся в результате неограниченного гравитационного коллапса достаточно большой массы вещества.

Согласно общей теории относительности звезда с массой, большей 3—4 солнечных, лишенная источников энергии, сжимается под действием собственного тяготения, которому ничто больше не противостоит, за пределы гравитационного радиуса $R_g = 2GM/c^2$, после чего ничто, в том числе и фотоны, не может выйти из нее наружу. Но черная дыра продолжает притягивать вещество, и стягивающийся к ней газ образует вращающийся вокруг нее диск, на который и происходит дальнейшая аккреция; в результате трения газовых облаков этот диск нагревается и гравитационная энергия переходит в энергию излучения.

Вся картина может качественно напоминать наблюдающуюся в галактическом рентгеновском источнике SS433 — остатке Сверхновой. Здесь от компактного объекта — звездного остатка Сверхновой, который является черной дырой, окруженной аккреционным диском, бьют в обе стороны прецессирующий джет, скорость сгустков выбрасываемого ионизованного газа в котором составляет около 80 000 км/с. Аккрецируемое вещество поставляется вторым компонентом этой двойной системы, массивным сверхгигантом. Его наличие было первоначально установлено по характерным изменениям блеска, которые первым выявил А. М. Черепашук в результате многолетних наблюдений. Присутствие черной дыры было обосновано наблюдательно лишь в 2002 г. по спектральным наблюдениям, позволившим оценить массу компактного объекта в 15 солнечных. Масса нейтронной звезды не может превышать 3—4 солнечных.

Такого же рода струи плазмы бьют из ядер многих квазаров и галактик, но масштабы явления несравненно больше. Так, размах обнаруживаемого в радиодиапазоне джета, бьющего по обе стороны из ядра радиогалактики 3C236, составляет около 2,3 Мпк, что на 5 порядков больше, чем у джета SS433 и вдвое превышает размеры всей Местной группы галактик! Иногда эти выбросы остаются крайне узкими (угол при центре не больше нескольких градусов) на протяжении сотен килопарсек, а близ их концов находятся обширные облака ионизованного газа, как и в случае радиогалактики Лебедь А.

В оптике ядро этой галактики малозаметно; это отнюдь не квазар, но морфология радиоджетов удивительно похожа на таковую у квазара 3C 175. Сравнение рис. 8.6 и 8.7 показывает, что джеты синхротронного излучения продолжают быть видимы и после того, как ядро перестает быть «активным» в оптическом диапазоне. Уже из этого факта следует, что, как и у микроквазаров, джеты из ядер галактик появляются и исчезают вновь, но конечно, с характерным временем на многие порядки большим.

Физика этих явлений все еще неясна. Считается, что выбрасываемые вдоль оси вращения центрального источника сгустки плазмы удерживаются от расширения динамическим давлением внешнего газа. Из-за этого джеты, совокупность этих последовательно выбрасываемых из ядра сгустков, и являются такими узкими. Однако это должно означать достаточно высокую плотность внегалактической среды, которая, по-видимому, возможна лишь в скоплениях или группах галактик. Следовало бы проверить, не выше ли частота галактик с узкими джетами в скоплениях. Не очень понятно также, почему джеты расплываются у концов в гигантские облака плазмы; возможно, это определяется их встречей с межгалактическими газовыми облаками.

Итак, давно уже понятно, что квазары являются не новым родом небесных объектов, а галактиками с необычно «активными» ядрами. Понятно также, почему вокруг квазаров обнаруживаются обычно эллиптические галактики. Лишь несколько астрономов с этим не согласны. Х. Арп с 1967 г. и по сей день приводит аргументы в пользу того, что квазары ассоциируются с гигантскими радиогалактиками. Его аргументы, по-видимому, не выдерживают статистической проверки — и галактик и квазаров достаточно много для того, чтобы их соседство на небе объяснялось случайной проекцией. Тем не менее, Арп и поныне убежден в том, что квазары находятся поблизости. Они выбрасываются из ядер больших пекулярных галактик и красное смещение квазаров лишь частично доплеровское и является свойством рождающегося в ядрах галактик нового

вещества... Ф. Хойл и Дж. Бербидж придерживались близкой точки зрения.

Однако в этой картине нет никакой необходимости. В ядрах многих галактик наверняка находятся сверхмассивные черные дыры, аккреция вещества на которые и приводит к разнообразным проявлениям «активности». Косвенные признаки наличия черных дыр с массами до сотен миллионов солнечных получены в последние годы для трех сотен галактик. Это ничтожно малые размеры очень ярких в рентгеновском, оптическом и радиодиапазоне сердцевин их ядер и очень большие скорости вращения в пределах этих сердцевин, позволяющие оценить массу. Ныне имеются и почти прямые, почти однозначные свидетельства наличия черных дыр в центрах галактики NGC4258 и нашей Галактики. Об этом и о черных дырах вообще, рассказывается в книге А. М. Черепашука и А. Д. Чернина «Вселенная, жизнь, черные дыры» (Век 2, Фрязино, 2003).

Скопления галактик

Изолированные галактики встречаются очень редко, да и те практически всегда окружены дюжиной карликовых спутников. Почти все галактики входят в группы, те в скопления, а скопления в свою очередь образуют сверхскопления. На этом иерархия вложенных друг в друга группировок галактик останавливается, подобно тому, как на звездных комплексах кончается последовательность звездных группировок. На масштабах, превышающих 200–300 Мпк Вселенную можно уже считать однородной. В деле изучения распределения галактик в пространстве Шепли взял реванш — Хаббл категорически отрицал реальность сверхскоплений.

Существует замечательная корреляция между строением скоплений и типом преобладающих в них галактик. В неправильных, слабо концентрирующихся к центру скоплениях, которые обычно не бывают очень богаты, преобладают спиральные галактики; много там и неправильных систем.

Правильные скопления имеют сферическую форму и показывают сильную концентрацию к центру скопления; в них преобладают эллиптические галактики и галактики S0.

Бросается в глаза аналогия между звездными скоплениями и скоплениями галактик. Классические шаровые звездные скопления состоят из звезд населения II, и в правильные скопления входят галактики, состоящие из звезд населения II; неправильные скопления галактик похожи по структуре на рассеянные звездные скопления, а входящие в них галактики в изобилии содержат звезды населения I, из которых состоят рассеянные скопления. Объяснение этой закономерности, на наш взгляд — одна из важнейших задач всех гипотез образования галактик. Можно предположить, что она является подтверждением гипотезы о вторичности эллиптических галактик — их образовании при слиянии дисковых галактик. В более плотных скоплениях этот процесс должен идти с большим успехом.

Не менее важной является проблема крупномасштабной структурности в распределении скоплений галактик. Они образуют как бы стенки гигантских полостей, войдов, внутри которых галактики почти отсутствуют; в проекции на небосвод они образуют широкие цепочки, на пересечении которых находятся скопления скоплений — называемые обычно сверхскоплениями. Задача объяснения происхождения этой структуры еще далека от решения.

Темная материя

Первые определения скоростей галактик в скоплениях обнаружили проблему, не до конца решенную и поныне. В 1933 г. Ф. Цвикки нашел, что дисперсия скоростей галактик в скоплении Волос Вероники (рис. 8.9) составляет около 1000 км/с. Из предположения гравитационной связанности этого скопления следовала очень большая масса галактики в скоплениях, много больше, чем получалось из обычного для галактик отношения массы к светимости. Аналогичный результат был

получен затем для скопления галактик в Деве. Цвикки не мог найти объяснений этой странности. На проблему не обращали внимания до 1958 г., когда В. А. Амбарцумян предположил, что массы галактик в скоплениях «нормальные», а их высокие скорости объясняются тем, что они гравитационно не связаны и распадаются подобно звездным ассоциациям.

Согласно так называемой теореме о вириале, в устойчивой гравитационно-связанной системе потенциальная энергия (определяемая взаимным тяготением ее членов) должна быть равна по абсолютной величине удвоенной кинетической энергии. Масса скоплений галактик (в предположении их связанности), определяемая по этой форму-



Рис. 8.9. Скопление галактик в Волосах Вероники.

ле, как правило, оказывается в десятки раз больше суммарной массы входящих в состав скопления галактик. (Массы индивидуальных галактик определялись по их кривым вращения, по ширине линий в их спектрах, определяемой дисперсией скоростей звезд внутри них, и из косвенных соображений, по зависимости масса—светимость для звезд.) Необходимо было либо допустить наличие в скоплениях скрытой массы, либо считать скопления нестабильными. В 1970-х годах И. Д. Караченцев по данным о размерах скоплений и дисперсии скоростей галактик в них нашел, что это предположение ведет к срокам жизни скоплений не более 1 миллиарда лет. Это ставило под сомнение теорию звездной эволюции, согласно которой возраст старейших звезд оценивался в 10–15 миллиардов лет.

Само существование скоплений, несмотря на их нестабильность, приводило к выводу о продолжающемся в них и сейчас образовании галактик — очевидно, из вещества, не имевшего массы на предгалактической стадии, иначе скопления сле-

довало бы считать достаточно массивными и стабильными... «Вириальный парадокс» долго оставался неразрешенным.

В. А. Амбарцумян и его немногочисленные сторонники находились в логическом тупике, не признавая, что эта идеология приемлема как заслуживающая обсуждения гипотеза лишь в контексте стационарной космологии — продолжающегося в ядрах галактик рождения вещества, которое согласно космологической концепции Хойла, Бонди и Голда должно обеспечить постоянную плотность Вселенной, несмотря на ее расширение. Рождение звезд «из ничего», как и взгляды Хойла, были осуждены на 2-м Всесоюзном совещании по космогонии как явный идеализм, и В. А. Амбарцумян не хотел попасть в ряды «хойлистов». Предположение об образовании звезд из сверхплотного вещества и особой роли ядер галактик, получили у нас название «бюраканской концепции». Ее сторонники, в сущности, утверждали, что происхождение и звезд и галактик покрыто мраком неизвестности. Даже в 1982 г. В. А. Амбарцумян писал (*Sky & Telescope*, v. 64, 518): «Я полагаю, что все начинается с очень массивных ядер. Однако даже в моей стране многие придерживаются противоположного мнения: они думают, что в начале всего были газ и пыль. Однако мы повсюду наблюдаем потерю вещества; никто не наблюдал коллапс газовой туманности в звезду».

К этому времени уже были известны признаки того, что ненаблюдаемое гравитирующее вещество имеется и в индивидуальных галактиках, а позднее стало ясно, что оно преобладает и в скоплениях галактик вне самих галактик. Наблюдения лучевых скоростей нейтрального водорода показали, что высокие скорости вращения дисков галактик сохраняются и на очень больших расстояниях от центра, там, где звезд уже не видно. В 1974 г. Дж. Острайкер и Дж. Пиблс и независимо от них Я. Эйнасто и его сотрудники, анализируя зависимости скоростей вращения галактик от расстояния до их центров и плотность вещества в их дисках, пришли к выводу о существовании у галактик обширных корон из темного вещества, в которых может заключаться около 90% массы галактики.

Массы галактик следовало увеличить на порядок. Этого еще не хватает для гравитационной связанности большинства скоплений, которая, однако, следует из скоростей движения горячего газа, в те же годы обнаруженного при изучении скоплений галактик в рентгеновском диапазоне. Этого газа также еще маловато для обеспечения связанности скоплений, но дисперсия его скоростей соответствует скоростям движений галактик в скоплениях, указывая на то, что газ и галактики образуют единую гравитационно-связанную систему. Вывод о наличии в галактиках и в их скоплениях ненаблюдаемой скрытой массы, на порядок превышающей массу звезд, вскоре стал практически общепринятым.

Природа носителей скрытой массы неизвестна и до сих пор. Долгое время в качестве кандидатов на эту роль считалось нейтрино, но сейчас ясно, что хотя эти частицы и имеют массу покоя, она слишком мала. Наиболее вероятными претендентами являются слабо взаимодействующие массивные частицы (WIMP), которые еще предстоит открыть; эксперименты, по их обнаружению в космическом пространстве, все еще безуспешны. Для этого, как и в случае нейтрино, приходится залезать под землю. Пытаются измерить годовые вариации в частоте некоторых ядерных превращений, стимулированных столкновением с WIMP, приходящими из глубин Галактики. Вращение Земли вокруг Солнца модулирует частоту наших встреч с этими частицами.

Критически важным является вопрос о том, как ненаблюдаемое гравитирующее вещество распределено в пространстве. Пока ясно только, что оно имеется в скоплениях галактик и вокруг многих — но возможно не всех (почему?) галактик. Но не образует ли оно и сгущений, не связанных с видимой материей? В скоплении Девы одно такое сгущение в 2005 г. вроде бы обнаружено — найдено огромное облако HI, вращение которого позволяет определить массу, и она оказывается на порядок большей массы газа, которая следует из радиосветимости облака. Поскольку не видно и звезд, приходится апеллировать к темной материи.

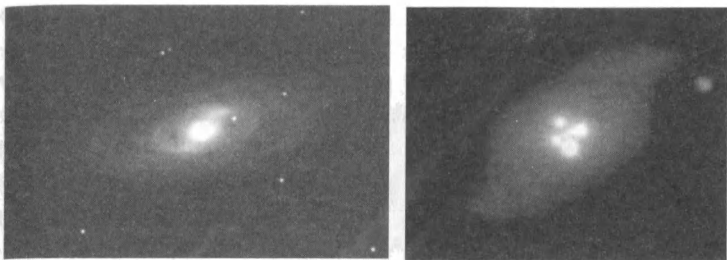


Рис. 8.10. Крест Эйнштейна: слева — галактика, ядро которой находится точно на луче зрения от находящего далеко позади него квазара QSO 2237 и служит гравитационной линзой, расщепляющей его изображение (справа) на четыре объекта — называемые крестом Эйнштейна.

Лучшим способом приблизиться к решению проблемы являются поиски искажений в форме изображений далеких галактик и квазаров, обусловленных влиянием концентраций на луче зрения невидимого вещества, действующих как гравитационные линзы. Для этого планируется создание специального телескопа с зеркалом в 8,4 м и полем зрения в 3 градуса. Математическая обработка изображений галактик до 28-й величины позволит создать карту распределения темной гравитирующей материи по небу. Уже работают большие телескопы, специально ориентированные на измерения красных смещений (и значит расстояний) многих миллионов галактик. Великая теория Эйнштейна, предсказавшая в частности и искривление луча света при прохождении близ больших масс (см. рис. 8.10) продолжает работу...

Рождение галактик

Многие астрономы полагают, что галактики образуются из «строительных блоков» с характерной массой всего лишь в миллионы солнечных; признаки этого усматривают в морфологии многих из предельно далеких (и, следовательно, молодых) галактик, видимых на максимально глубоких изображениях, полученных на Хаббловском телескопе с многочасовыми

экспозициями (рис. 8.11). Внутри многих из них видны как голубые пятна молодые звездные комплексы, объединение которых в единую систему и могло породить галактику, много и изолированных крошечных голубых галактик. Возможно, что эти ближние к нам строительные блоки представляют собой компактные карликовые галактики с активным звездообразованием (рис. 8.12). В некоторых из них нет звезд с возрастом более миллиарда лет и необычно низкое для молодых объектов содержание тяжелых элементов. Дело выглядит таким образом, как если бы звездообразование в породивших эти галактики межгалактических облаках водорода началось относительно недавно.

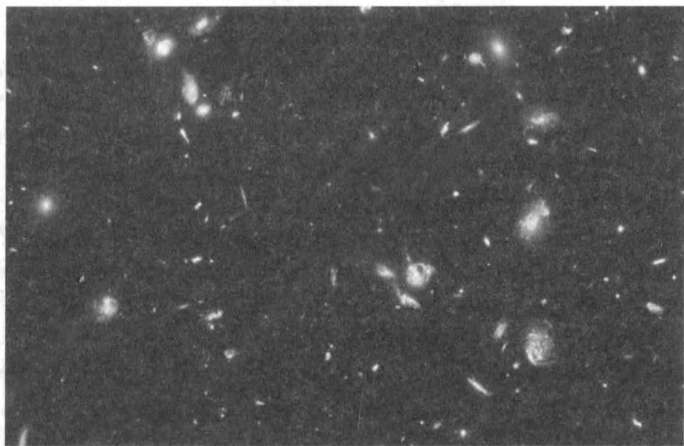


Рис. 8.11. Деталь «Ультраглубокого поля» HST.

Что же касается обычных галактик, возраст их старейших объектов — и значит самих галактик — практически одинаков и составляет, по последним оценкам, около 12–13 млрд. лет. Речь идет о шаровых скоплениях, возраст которых уверенно оценивается на основе теории звездной эволюции. Характерными членами этих скоплений являются переменные звезды типа RR Лиры. Остается в силе утверждение Вальтера Бааде, что поскольку во всех галактиках Местной

группы эти звезды обнаруживаются, а наше место во Вселенной не должно быть ничем выделено, возраст всех галактик любых типов примерно одинаков.

Упомянутые выше компактные галактики с активным звездообразованием, возможно, являются исключением. Некоторые из них могут быть осколками, продуктом приливного взаимодействия больших галактик и тогда в них присутствуют и старые звезды и тяжелые элементы, однако многие находятся в изоляции, в том числе в войдах. Означает ли это, что некоторые протогалактические газовые облака по каким-то причинам в течение миллиардов лет живут, не производя на свет звезды?



Рис. 8.12. Компактная голубая карликовая галактика I Zwicky 18, возраст звезд в которой, по-видимому, не превышает 500 млн. лет.

Формирование больших галактик при слиянии меньших — иерархическая модель образования галактик — ныне является господствующей. Она исходит из представлений космологов о том, что первоначальные масштабы флуктуаций плотности на ранних стадиях эволюции Вселенной малы; сначала возникают сгущения невидимой гравитирующей холодной материи, к которым «сваливается» обычное вещество, образуются небольшие галактики, а уж при их слиянии — гигантские. Однако недавно обнаружены гигантские галактики с красным смещением около 6 — при таком красном смещении мы наблюдаем объекты, соответствующие возрасту Вселенной всего лишь около 500 млн. лет. Проблема образования галактик не может считаться решенной.

Да и как же можно рассуждать о происхождении галактик, если выясняется, что менее процента массы во Вселенной заключено в звездах, 3—4 процента — в газе, в основном межгалактическом, а 96 процентов — вообще неизвестно в

чем? В некотором смысле ситуация подобна жалким, как нам кажется сейчас, попыткам решения проблемы источников энергии звезд до открытия энергии ядерных реакций.

Снова и снова мы видим примеры гипотез, выдвинутых тогда, когда нам, с нашей нынешней колокольни, кажется, что было непростительной смелостью и даже авантюризмом их выдвигать. Однако эти гипотезы стимулировали наблюдения, которые помогли их проверить — и во многих случаях опровергнуть. Другого пути нет. «Я хочу знать это сейчас» — эти слова Каптейна отражают эмоции каждого исследователя, и только это благородное нетерпение отодвигает все дальше и дальше горизонт нашего знания.

Глава 9. РАСШИРЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ

Ночью я открываю мой люк и смотрю, как далеко разбрызганы в небе миры. И все, что я вижу, умножьте на сколько хотите, есть только граница новых и новых вселенных. Дальше и дальше уходят они, расширяясь, всегда расширяясь, за грани, за грани, вечно за грани миров.

Уолт Уитмен

Красное смещение

Самое грандиозное явление, известное человеку — это расширение нашей Вселенной, окончательно установленное в 1929 г. (и намного раньше описанное американским поэтом...). Расстояния между скоплениями галактик непрерывно возрастают, и это важнейший факт для понимания устройства Мироздания. Определение скорости расширения в зависимости от времени остается важнейшим предметом наземных и орбитальных наблюдений. Первые признаки расширения Вселенной были обнаружены около 90 лет назад, когда большинство астрономов полагало, что наша Галактика и есть вся Вселенная. Как мы знаем, слабые туманные пятнышки, десятки тысяч которых были обнаружены с началом развития астрофотографии, считались далекими газовыми туманностями на окраине всеобъемлющей звездной системы Млечного пути. Вестон Слайфер на Флагстаффской обсерватории в Аризоне долгие годы был единственным человеком в мире, получавшим их спектры. Самым ярким представителем этих объектов была хорошо известная туманность Андромеды. В 1914 г. Слайфер опубликовал первое определение лучевой скорости этой туманности по спектрограмме, полученной им на 24-дюймовом рефракторе. Оказалось, что она приближается к нам со скоростью около 300 км/с.

К 1925 г. в коллекции Слайфера были спектры 41 объекта. Странной особенностью обладали эти спектры — скорости у всех из них были велики и отрицательная скорость М31 оказалась редчайшим исключением: в среднем скорость туманностей составляла +375 км/с, а наибольшая скорость была +1125 км/с. Почти все они удалялись от нас, и скорости их превышали скорость любых других объектов, известных астрономам. (Напомним, что отрицательные скорости направлены к нам, положительные — от нас.)

Обсерваторию в Флагстаффе Персиваль Ловелл построил специально для наблюдений каналов Марса. Некоторые из нас пришли в астрономию, увлеченные его книгой, в которой рассказывалось о волне потемнения, о расщеплении каналов, переполняемых водой марсианской весны... Однако на этой обсерватории были открыты не менее фантастические, но совершенно реальные вещи. Мы знаем теперь, что слабые туманности, которые наблюдал Слайфер — это далекие галактики.

Никто после 1925 г. не сомневался больше в том, что Вселенная населена галактиками, а не изолированными звездами. Только тогда появились принципиальные возможности проверки выводов зарождавшейся космологии — науки о строении и эволюции Вселенной в целом.

Отсутствие больших скоростей у звезд по-видимому было решающим соображением, заставившим Эйнштейна в 1917 г. ввести в свою модель Вселенной дополнительный член, названный им космологической постоянной. Он нужен был для того, чтобы уравнения общей теории относительности давали статичную модель Вселенной. Позднее, когда всем стало ясно, что Вселенная населена галактиками, а не звездами, Эйнштейн называл введение космологической постоянной своей самой большой ошибкой.

В 1924 г. К. Вирц обнаружил слабую корреляцию между угловыми диаметрами и скоростями удаления галактик и предположил, что она может быть объяснена космологической моделью В. де Ситтера, согласно которой скорость

отдаленных объектов должна возрастать с их расстоянием. Модель де Ситтера соответствовала пустой Вселенной, но в 1923 г. Г. Вейль отметил, что если в нее поместить вещество, она также должна расширяться. О нестатичности Вселенной де Ситтера говорилось и в книге Эддингтона, опубликованной в том же году. Де Ситтер, опубликовавший свою работу «Об эйнштейновской теории гравитации и ее астрономических следствиях» в 1917 г., сразу же после появления общей теории относительности, знал только три лучевые скорости; у М31 она была отрицательна, а у двух слабых галактик — положительная и большая.

К. Лундмарк и затем Э. Стремберг, повторившие работу Вирца, не получили убедительных результатов, а Стремберг даже заявил в 1925 г., что «не существует зависимости лучевых скоростей от расстояния от Солнца». Однако было ясно, что ни диаметр, ни блеск галактик не могут считаться надежными критериями их расстояния.

О расширении непустой Вселенной говорилось и в первой космологической работе бельгийского теоретика Ж. Леметра, опубликованной в 1925 г. Следующая его статья, опубликованная в 1927 г., называлась «Однородная Вселенная постоянной массы и возрастающего радиуса, объясняющая радиальные скорости внегалактических туманностей». Коэффициент пропорциональности между скоростью и расстоянием, полученный Леметром, был близок к найденному Хабблом в 1929 г. Наблюдательные результаты Хаббла стимулировали интерес к проблеме. В 1931 г. по инициативе А. Эддингтона статья Леметра была перепечатана в «*Monthly Notices*» и стала с тех пор широко цитироваться.

Работы А. А. Фридмана, который первый получил модель непустой и нестатичной Вселенной, были опубликованы еще в 1923–1924 гг. и стали широко известны много позднее. Попытки использовать какие-либо астрономические данные в его работе не было, это была абстрактная математическая модель.

Закон Хаббла

Ж. Леметр был первым, кто четко заявил, что объекты, населяющие расширяющуюся Вселенную, распределение и скорости движения которых и должны быть предметом космологии — это не звезды, а гигантские звездные системы, галактики. Леметр опирался на результаты Хаббла, изложенные в его докладе в США в 1926 г. Американский теоретик Х. Робертсон в 1928 г., используя данные Хаббла 1926 года, также нашел, что скорости разбегания галактик пропорциональны их расстоянию. По-видимому, эту работу Хаббл знал. С 1928 г. по его заданию М. Хьюмасон (1891–1972) упорно старался измерить красное смещение у возможно более далеких галактик. Вскоре за 45 часов экспозиции у галактики NGC 7619 в скоплении Персея была измерена скорость удаления в 3779 км/с. (Надо ли говорить, что последние две цифры излишни).

Сам же Хаббл разработал критерии определения расстояний для галактик, столь удаленных, что цефеиды в них оставались недоступны 100" телескопу. Они были основаны на предположении об одинаковости блеска самых ярких отдельных звезд внутри разных галактик. К 1929 г. у Хаббла были уверенные расстояния двух десятков галактик, скорости которых доходили до ~1100 км/с. И вот 17 января 1929 г. в Труды Национальной академии наук США поступила статья Хьюмасона о лучевой скорости NGC 7619 и статья Хаббла, называвшаяся «Связь между расстоянием и лучевой скоростью внегалактических туманностей». Сопоставление этих расстояний с лучевыми скоростями показало четкую линейную зависимость скорости от расстояния, по праву называемую теперь законом Хаббла (рис. 9.1).

Сообщая о своем открытии, Хаббл писал, что «зависимость скорость—расстояние может представлять эффект де Ситтера и, следовательно, она может дать количественные данные для определения общей кривизны пространства». Однако вскоре он потерял уверенность в том, что красное смещение означает именно расширение Вселенной, — вероятно, под влиянием

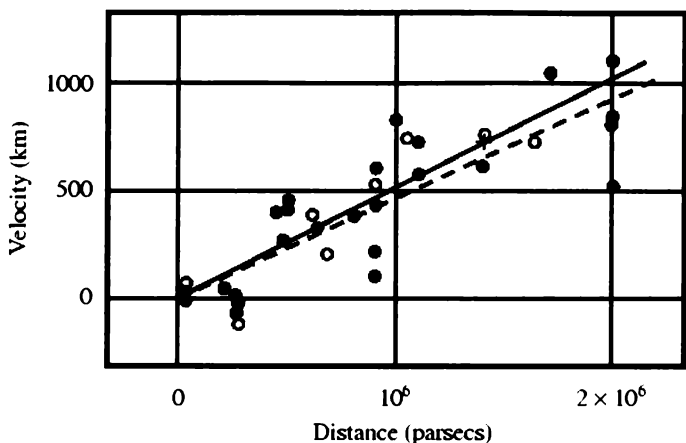


Рис. 9.1. Диаграмма лучевая скорость — расстояние галактик, построенная Хабблом в 1929 г. — первое изображение «закона Хаббла».

неумолимого вывода из этого предположения. Как писал тогда Г. Рессел, «признать теорию де Ситтера без оговорок преждевременно. Философски неприемлемо, чтобы все галактики прежде были вместе. На вопрос «почему» ответа мы не находим». Именно из такого рода соображений Эйнштейн ввел в свои уравнения 1916 г. космологическую постоянную, долженствующую стабилизировать Вселенную.

Летом 1929 г. Хаббл обрушился на де Ситтера, посмеявшегося опубликовать детальную работу, посвященную сравнению теоретических и наблюдательных выводов о расширении Вселенной. Он написал де Ситтеру, что зависимость скорость—расстояние является «маунт-вилсоновским достижением», и что «первое обсуждение новых данных естественно принадлежит тем, кто действительно выполнял работу». Однако в 1931 г., после появления гипотезы Цвикки о возможности старения фотонов, Хаббл написал де Ситтеру, что «интерпретацию следует оставить Вам и еще очень немногим, кто компетентен авторитетно обсуждать предмет»... До конца своей жизни Хаббл по-видимому так и не решил для себя, говорит ли

красное смещение о расширении Вселенной, или оно обязано «некому новому принципу природы». Так или иначе, его имя (рис. 9.2) навсегда осталось связанным с величайшим достижением науки. Это тот случай, когда человек оказался в правильном месте в нужное время. Среди астрономов есть наблюдатели-энтузиасты и есть люди поразительной интуиции, пришедшие к правильному решению из казалось бы недостаточных предпосылок — таковы А. Эддингтон, Ф. Цвикки, И. С. Шкловский, Ф. Хойл... Из выдвинутых ими смелых идей невелик процент не выдержавших проверку временем.



Рис. 9.2. Эдвин Хаббл
(1889–1953).

Попытки объяснить красное смещение галактик не расширением Вселенной, а чем-либо иным, которые изредка можно встретить и теперь, неизменно терпят неудачу. Не проходит предположение Цвикки о том, что за долгое время пути фотоны «стареют», теряют энергию и соответствующая длина волны увеличивается — при этом размывались бы и изображения далеких объектов, а величина красного смещения зависела бы от длины волны, чего не наблюдается. Прямые

свидетельства правильности вывода о том, что более далекие объекты имеют большие скорости удаления, получены недавно при изучении кривых блеска и спектров далеких сверхновых звезд.

Подчеркнем, что решающее значение имели методы определения расстояний галактик, разработанные Хабблом, для чего понадобились прямые фотографии на 100-дюймовом рефлекторе. В тридцатых годах Хаббл и его сотрудники занимали более половины наблюдательного времени крупнейшего

и практически единственного тогда пригодного для таких работ телескопа. И эта концентрация усилий привела к величайшим достижениям наблюдательной астрономии XX века!

К 1935 г. у Хьюмасона были спектрограммы 150 галактик до расстояний, в 35 раз превышающих расстояние скопления галактик в Деве, а к 1940 г. наибольшие обнаруженные им скорости удаления галактик составляли уже 40 000 км/с. И до самых больших расстояний сохранялась прямая пропорциональная зависимость между красным смещением, $z = \Delta\lambda/\lambda$ и расстоянием, которая в общем виде записывается так:

$$cz = v = Hr,$$

где c — скорость света, r — расстояние и v — лучевая скорость. Коэффициент пропорциональности H был назван позднее постоянной Хаббла.

Как уже говорилось, закон Хаббла — этот новый закон природы — получил объяснение в основанных на общей теории относительности моделях Вселенной еще до того, как он был незыблемо установлен. Приоритет должен быть отдан А. А. Фридману; модели, полученные ранее Эйнштейном и де Ситтером, оказались предельными случаями моделей Фридмана. Результаты Леметра (не знакомого тогда с работами Фридмана), стали известны раньше, однако уже в 1931 г. Эйнштейн, говоря о расширяющейся Вселенной, отметил, что первым на этот путь вступил Фридман.

Постоянная Хаббла

Красное смещение, пропорциональное расстоянию, означает конечно не разбегание галактик именно от нас, а увеличение всех расстояний между всеми объектами Вселенной (точнее, между объектами, не связанными тяготением — т. е. скоплениями галактик) со скоростью, пропорциональной величине расстояния, подобно тому, как увеличиваются расстояния между всеми точками, расположенными на поверхности раздувающегося шара. Наблюдатель в любой галактике

видит, что все другие галактики разбегаются от него и красное смещение нашей Галактики, определенное им, было бы в точности равно значению, полученному нами для его галактики.

Определение скорости расширения Вселенной остается одной из самых важных задач астрономии. Расскажем, прежде всего, как ее решал сам Хаббл в 1935 г. У него были данные о красном смещении 29 довольно близких галактик, находящихся, однако, за пределами Местной группы: слишком близкие галактики использовать заведомо нельзя, так как для них скорости удаления от нас, обусловленные расширением пространства Вселенной, слишком малы и сравнимы со скоростями их движений в пространстве.

В этих 29 галактиках Хаббл определил звездные величины самых ярких звезд. Поскольку светимости их во всех галактиках, как нашел Хаббл, примерно одинаковы, их звездные величины должны быть функцией расстояния, и действительно, они показывают зависимость от скорости удаления v . Наклон этой зависимости и определяет постоянную Хаббла. *)

Абсолютная величина ярчайших звезд, найденная Хабблом, была равна $-6^m,35$, и величина H (Хаббл обозначал ее v/r) получилась равной 535 (км/с)/Мпк . Поскольку светимость ярчайших звезд была определена сравнением их с цефеидами, пересмотр нуля-пункта зависимости период—светимость в 1952—55 гг., о чем рассказывалось в главе 4, означал необходимость и пересмотра величины постоянной Хаббла. В 1955 г. Хьюмасон, Мейолл и Сендидж, используя новые данные о

*) Эта зависимость по данным Хаббла представляется формулой

$$\lg v = 0,2m - 1,0.$$

С другой стороны, $v = Hr$, $\lg v = \lg H + \lg r$, и $\lg r = 0,2(m - M) + 1$, где M — абсолютная величина. Из этих трех формул и вытекает выражение, с помощью которого определяется в данном случае постоянная Хаббла:

$$\lg H = 0,2M - 2,00.$$

В общем виде из закона Хаббла $v = Hr$ и формулы $\lg r = 0,2(m - M) + 1$ следует

$$m = 5 \lg z + M - 5 \lg H + 5 \lg c - 5,$$

$$\text{т. е. } m = 5 \lg z + \text{const.}$$

красном смещении и учтя поправку Бааде к нуль-пункту зависимости период—светимость, получили $H = 180 \text{ (км/с)/Мпк}$. В 1958 г. Аллан Сендидж, продолжая дело своего учителя Хаббла, опубликовал результаты новой ревизии постоянной H . Опираясь главным образом на Новые звезды, Сендидж пришел к выводу, что модули расстояний Магеллановых Облаков, М31, М33 и NGC 6822 надо увеличить в среднем на $2^m,3$ сравнительно со значениями, принятыми Хабблом. На столько же, следовательно, надо сделать ярче абсолютные величины ярчайших звезд; они были уточнены еще и путем привлечения новых данных о ярчайших звездах галактик Местной группы.

Помимо этих уточнений, Сендидж обнаружил у своего учителя еще и серьезную ошибку — объекты, которые Хаббл принимал за ярчайшие звезды в лежащих за пределами Местной группы галактиках, являются в действительности компактными эмиссионными туманностями, областями HII. Хаббл, который в двадцатых годах мог работать только с пластинками, чувствительными к синим лучам, не имел возможности различить их в далеких галактиках. Даже в М31, несмотря на тщательные поиски, он не нашел ни одной эмиссионной туманности, хотя сейчас их там известно 981. Вероятно, поэтому возможность такой путаницы не приходила Хабблу в голову. Лишь Бааде, фотографировавший М31 в красных лучах и использовавший светофильтры, вырезающие красную водородную линию H , смог отыскать их. Сендидж, снимая галактику NGC 4321 = M100 в скоплении Девы в разных лучах, обнаружил, что ярчайшие из компактных областей HII ярче самых ярких звезд на $1^m,8$ — вот на сколько Хаббл преуменьшал модуль расстояния, определяя его по «ярчайшим звездам». Суммарная ошибка в принятых Хабблом модулях расстояния составляет, следовательно, около $4^m,0!$ В итоге, по оценке Сендиджа, постоянная Хаббла должна быть заключена в пределах 50—100 (км/с)/Мпк. Причину оставшейся неопределенности он приписал в основном дисперсии абсолютных величин ярчайших звезд. Результаты Сендиджа означали, что расстояния далеких галактик Хаббл преуменьшал в 6—7 раз!

Пересмотр значения постоянной Хаббла увеличил обратно ей пропорциональный возраст Вселенной с 2 до 10–15 млрд. лет и тем самым устранил важную причину сомневаться в том, что красное смещение отражает именно расширение Вселенной. Теперь Вселенная стала уже намного старше, а не моложе Земли.

В 1968 г., Сендидж определил постоянную Хаббла другим способом. Как установил Хаббл, ярчайшие члены скоплений галактик — гигантские эллиптические галактики — имеют почти одинаковую абсолютную величину. Можно и для них построить зависимость между видимыми величинами и красным смещением (рис. 9.4), и если определить светимость хотя

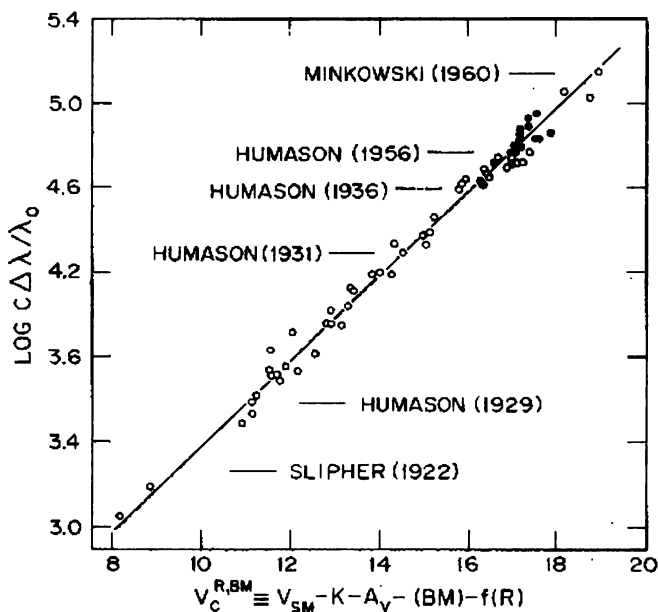


Рис. 9.4. Диаграмма Хаббла — зависимость красное смещение—звездная величина для 65 ярчайших галактик в скоплениях. Уравнение прямой имеет вид $m = 5 \lg z + \text{const}$, подтверждающая справедливость закона Хаббла. Указаны пределы красного смещения, достигнутые разными исследователями. Рисунок взят из работы А. Сендиджа, Дж. Кристиана и Дж. Вестфала.

бы одной из них, из этой зависимости можно определить постоянную Хаббла, аналогично тому, как это делал сам Хаббл с ярчайшими звездами. Особенно важно при этом, что мы можем уйти теперь неизмеримо дальше — ярчайшие галактики скоплений ярче ярчайших звезд на $11-12^m$. Светимость наиболее яркой галактики в скоплениях можно определить, зная расстояние хотя бы одного скопления. Ближайшим богатым скоплением является скопление в Деве, и Сендидж использовал для определения его расстояния шаровые скопления в эллиптической галактике М87.

Предполагая далее, вместе с Сендиджем, что светимость ярчайших звездных скоплений в богатых ими галактиках одинакова, зная интегральную абсолютную величину ярчайшего скопления нашей Галактики ($-9^m,7V$, скопление Кентавра) и М31 ($9^m,8V$, скопление В 282), а также блеск ярчайшего скопления М87 ($21^m,3V$), получаем модуль расстояния М87 и всего скопления галактик:

$$m-M = 21^m,3 + 9^m,8 = 31^m,1.$$

Отсюда следует, что ярчайшая галактика скопления Девы (эллиптическая галактика NGC 4472, в которой, как и в М87, также очень много шаровых скоплений) — и, следовательно, ярчайшие галактики во всех скоплениях вообще — имеют абсолютную величину $-21^m,7$. Зная абсолютную величину галактик и зависимость их видимых величин от красного смещения, легко найти постоянную Хаббла. Таким способом Сендидж получил в 1968 г. значение $H = 75$ (км/с)/Мпк, долгое время считавшееся наиболее вероятным — и ныне подтвержденное новыми данными.

Однако в серии статей, опубликованных в 1974–1975 гг., А. Сендидж и швейцарский астроном Г. Тамман получили для постоянной Хаббла значение 55 (км/с)/Мпк. Определив с помощью цефеид расстояния галактик Местной группы и группы М81, они получили зависимость между линейными размерами областей НII и светимостью содержащей их галактики. С помощью этой зависимости они по угловым

диаметрам областей III нашли расстояния многих неправильных и спиральных галактик поля и определили светимость и лучевые скорости 50 гигантских спиральных галактик, откуда и нашли постоянную Хаббла.

В течение многих лет Сендидж и Тамман настаивали на том, что постоянная Хаббла с ошибкой примерно в 10% составляет 50 (км/с)/кпк, тогда как Ж. де Вокулер с той же ошибкой получал значение $H=95$. Магическое число 10% неразрывно связано с определениями этой постоянной; напомним, что Хаббл определил ее равной 535 (км/с)/кпк и оценил ошибку именно в 10%... Надо сказать, что у большинства астрономов получалось значение H между 75 и 100, и Сендидж и Тамман были почти единственными сторонниками длинной шкалы расстояний. Отголоски этого спора слышны и до сих пор, хотя возможный диапазон значений постоянной Хаббла сузился.

Это произошло в основном благодаря специальной программе наблюдений цефеид на Космическом телескопе имени Хаббла. Они были найдены и исследованы в двух десятках галактик, в основном в скоплении Девы, и по расстояниям этих галактик были прокалиброваны методы (Талли—Фишера, сверхновые Ia и др.), позволяющие определять расстояния еще более далеких галактик, для которых можно пренебречь их случайными движениями. (Ирония Природы состоит в том, что, как выясняется в последние годы, уходить далеко необязательно, но об этом потом). Одна группа исследователей, которую возглавляла знаток цефеид Венди Фридман, получила в 2001 г. значение $H = 72 \pm 7$, а группа Аллана Сендиджа получила в 2000 г. величину $H = 59 \pm 6$. Ошибка опять-таки оценена обеими группами точно в 10%!

Задача определения постоянной Хаббла была столь острой, поскольку от ее значения зависят и масштабы Вселенной, и ее средняя плотность, и возраст. Экстраполируя разбегание галактик назад, мы приходим к выводу, что когда-то все вещество Вселенной было собрано в одной точке. Если расширение Вселенной происходило с одной и той же скоростью, то величина, обратная постоянной Хаббла ($1/H = r/v = t$), поз-

воляет сказать, что этот момент $t=0$ имел место 13–19 ($H=50$) или 7–10 ($H=100$) миллиардов лет назад. Этот «экспансионный возраст Вселенной» при меньшем значении постоянной Хаббла, которое неизменно получается у Сендиджа, уверенно превышает возраст старейших звезд, чего нельзя сказать про значение $H=100$.

Впрочем, ныне проблема потеряла свою остроту и появились совсем другие способы определения постоянной Хаббла и возраста Вселенной, о чем будет речь в главе 10.

К краю Вселенной

Расскажем теперь о результатах поисков объектов с максимально большим красным смещением. Для этого требовались крупнейшие телескопы и многочасовые экспозиции. Долгие годы и энтузиастов и больших телескопов было меньше, чем пальцев на одной руке. С вводом в действие 200-дюймового телескопа (рис. 9.5) Хьюмасон смог в 1949 г. измерить $z = 0,20$ у галактики из скопления в Гидре с $V = 17^m,3$. Линии ночного неба долго не позволяли получить красное смещение для более слабых и далеких галактик, используя линии поглощения в их спектре. По единственной эмиссионной линии Р. Минковский в 1960 г. нашел $z = 0,46$ для радиогалактики 3C 295 ($V = 19^m,9$), долго остававшееся рекордным для галактик. В 1971 г. это значение подтвердил Дж. Оук по линиям поглощения, получив запись спектра 3C 295 с помощью 32-канального спектрометра и определив его сдвиг относительно стандартного

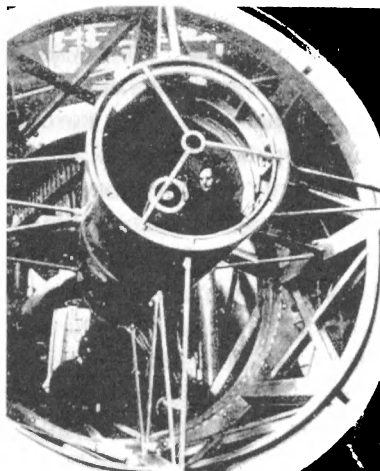


Рис. 9.5. Э. Хаббл в кабине главного фокуса 5-метрового рефлектора (~1948 г.).

спектра с нулевым красным смещением. На эту работу ушло 8 часов времени 200-дюймового телескопа. В 1929 г. Хьюмасону понадобилось 40 часов на 100-дюймовом телескопе для определения красного смещения галактики, на восемь звездных величин более яркой.

В 1975 г. Х. Спинрад с помощью 3-метрового рефлектора нашел $z = 0,637$ у радиогалактики 3C 123, блеск которой $21^m,7V$. Несколько линий в спектре 3C 123 Спинрад смог измерить с помощью электронно-оптического сканирующего спектрометра, накопив фотоны за 7 часов наблюдений в течение 4 ночей. Это гигантская эллиптическая галактика, вчетверо более мощная в радиодиапазоне, чем Кентавр А. Затем Сендидж и его сотрудники нашли $z = 0,53$ у радиогалактики 3C 330. Наконец, в 1981 г. Спинрад, получая спектры радиогалактик, нашел $z = 1,050$ для 3C 13 и $z = 1,175$ для 3C 427; экспозиции снова доходили до 40 часов, но наблюдались объекты, в десятки тысяч раз более слабые, чем в 1929 г. Измерения предельно больших красных смещений оставались уделом одиночек, пока мысль о том, что, изучая Вселенную на предельно больших масштабах, мы постигаем физику, управляющую и микромиром, не овладела массами...

Астрономия стала превращаться, на полвека позднее физики, в большую науку, в которой многочисленные коллективы работают на гигантских установках. Огромную роль сыграло и развитие электроники, приведшее к созданию эффективных светоприемников. Для Англо-Австралийского 4-метрового телескопа было разработано устройство, которое с помощью световодов позволяет одновременно получать спектры в области размером в четыре квадратных градуса. В этом сотрудничестве участвуют 20–30 человек. Более масштабные задачи Слоановского численного обзора неба, для которого на средства миллионера Слоана был построен широкоугольный 2,5-метровый телескоп. Задачей обзора является измерение на основе многоцветной фотометрии красных смещений примерно миллиона галактик на четверти площади небосвода. Здесь задействовано уже 150 астрономов из 11 институтов.

Среди первых уловов Слоановского обзора было обнаружение в 2001 г. квазара с красным смещением $z = 6,28$. Однако уже в следующем году этот рекорд был перекрыт, и чемпионом оказался не квазар, а галактика. Как мы знаем, квазары являются галактиками с необычно ярким ядром, и их легче обнаружить на больших расстояниях. Зафиксировать красное смещение столь далекой обычной галактики удалось потому, что световой поток от нее был усилен в 4,5 раза благодаря эффекту гравитационного линзирования. Эта галактика, обозначаемая HSM 6A, находится в одной минуте дуги от центра массивного скопления галактик Abell 370, которое, будучи гораздо ближе к нам, и послужило гравитационной линзой. Благодаря действию этого естественного телескопа и удалось с помощью 10-метрового телескопа *Keck-II* на Маунт Кеа зафиксировать спектр галактики в инфракрасном диапазоне. На длине волны 9190 ангстрем была найдена эмиссионная линия, которая почти наверняка является линией Лайман-альфа, сдвинутой красным смещением $z=6,56$ из ультрафиолетовой области спектра. Это отождествление было подтверждено наблюдениями на соседнем японском 8-метровом телескопе *Subaru*; они показали, что в более далеких инфракрасных полосах поток в тысячи раз слабее, чем в этой эмиссионной линии, что согласуется с ее отождествлением как линии Лайман-альфа.

Следующий рекорд был, возможно, поставлен недавно с помощью одного из 8-метровых телескопов (VLT) Южной Европейской обсерватории на горе Паранал в Чили. Снова использовался эффект гравитационной линзы — искались слабые галактики, видимые только в инфракрасной области, близ центра богатого компактного скопления галактик Abell 1835. У одного из таких объектов, № 1916, в спектре была найдена единственная сильная линия, отождествление которой с Лайман-альфа привело к красному смещению $z=10,0$. Другие возможные отождествления были отвергнуты, потому что в этом случае в спектре должны были бы наблюдаться несколько сильных линий. Однако этот результат подвергается сомнению.

Глава 10. НОВАЯ КОСМОЛОГИЯ

Мы, возводя соборы космогоний
Не внешний в них отображаем мир,
А только грани нашего незнания.

Максимилиан Волошин

Космологическая проблема

Еще лет 6 назад расширение Вселенной оставалось важнейшим и самым неожиданным из всех открытий астрономии. Однако достигнутое с тех пор понимание того, что мы не знаем, чем она наполнена — еще важнее.

Испокон веков философы были уверены в том, что Космос, Вселенная в целом, вечна и неизменна. Уравнения общей теории относительности, написанные в 1916 г., однако, допускали и нестатичность Вселенной, и чтобы избежать этого, Эйнштейн ввел в них добавочный член, названный впоследствии космологической постоянной. После работ Фридмана, Леметра, де Ситтера, Хьюмасона и Хаббла необходимость в этом члене отпала — Вселенная действительно оказалась нестатичной, расширяющейся.

Как вспоминал позднее Г. Гамов, в разговоре с ним Эйнштейн назвал введение космологической постоянной своей самой грубой ошибкой. Однако теперь мы понимаем, что ошибочным было лишь приращение этой постоянной значения, необходимого для статичности Вселенной. В целом же, предположение Эйнштейна, вытекавшее из самых общих мировоззренческих убеждений, оказалось в принципе правильным. Существование некоей силы антигравитации, в противоборстве с обычным тяготением управляющей динамикой Вселенной, было недавно доказано.

Проблемы космологии, науки о Вселенной в целом, предельно трудны для понимания, и даже специалисты-космологи не могут понятным образом объяснить некоторые свои выводы и приглашают читателя верить им на слово; здесь, как и в физике микромира, проходит граница с непознанным. Все это хорошо изложено в книге А. М. Черепашука и А. Д. Чернина «Вселенная, жизнь, черные дыры», и здесь мы расскажем лишь об астрономических аспектах ситуации.

Модели Вселенной Фридмана—Леметра, основанные на общей теории относительности, при равной нулю космологической постоянной допускают решения двух типов. Согласно первому, расширение Вселенной будет продолжаться неограниченно. Во втором варианте расширение замедляется все больше и наконец сменяется сжатием; красное смещение сменится синим. Допускалась возможность, что после достижения «сингулярности» — состояния предельно большой плотности — снова начнется расширение. Считалось, что и в этом варианте циклы расширения и сжатия Вселенной не могли продолжаться бесконечно в прошлом. Он не спасал теорию от вывода о том, что вся Вселенная в прошлом была стянута в ничтожно малый объем чудовищной плотности. Формально, если идти по оси времени назад, то плотность $\rightarrow \infty$. При плотностях $> 10^{93} \text{ г/см}^3$ современная теория бессильна, и вопрос о том, что было раньше, вообще нельзя ставить; понятие о непрерывном пространстве-времени при таких плотностях неприменимо, лишено физического смысла.

При космологической постоянной, равной нулю — что долго считалось само собой разумеющимся и не оговаривалось специально — судьба Вселенной зависит от критической плотности, определяемой постоянной Хаббла (т.е. шкалой расстояний) и данными о массе вещества (или плотности энергии) в единице объема. При плотности, равной критической, пространство Вселенной плоское и его расширение продолжается неограниченно; если плотность меньше критической, Вселенная будет расширяться вечно, а если больше критической — расширение сменится коллапсом.

Выбор между космологическими моделями можно сделать при сравнении с наблюдениями теоретических зависимостей между красным смещением и модулем расстояния далеких объектов: при больших красных смещениях должны появиться отклонения от линейного закона Хаббла (т.е. изменение «постоянной» Хаббла во времени), особенности, которые должны сказать — ускоренно, равномерно или замедленно идет расширение Вселенной. Они же в принципе могут дать ответ на вопрос, необходимо ли введение космологической постоянной. Большинство астрономов и физиков, в частности Л. Д. Ландау, были уверены в том, что она равна нулю.

Основная трудность связана с необходимостью иметь надежные данные о максимально далеких объектах с известной светимостью и состоит в определении этой светимости и тем самым расстояний. Конечно, наблюдаемый блеск должен быть освобожден от поглощения света. Долгое время единственными объектами, более или менее удовлетворяющими этим требованиям оставались ярчайшие галактики в богатых скоплениях. В первом приближении их светимость можно считать одинаковой.

Однако оставались серьезные проблемы, связанные в частности с тем, что наиболее далекие галактики мы видим на миллиарды лет более молодыми, чем галактики наших окрестностей. Их интегральные характеристики вследствие эволюции звездного населения могут существенно отличаться от характеристик соседних с нами галактик. Для решения космологической проблемы нужно было знать состав звездного населения галактик и его эволюционную историю, особенно для гигантских эллиптических галактик, которые обычно и являются самыми яркими в скоплениях. Все эти трудности делали выводы очень ненадежными.

Лет 15 назад стало выясняться, что гораздо лучшими стандартными свечами могут служить сверхновые типа Ia. Именно данные о положении очень далеких сверхновых на диаграмме красное смещение—блеск, которые появились к 1998 г. и привели к выводу об ускорении расширения Вселенной.

Реликтовое излучение

Таких результатов никто не ожидал, и это резко отличает современную ситуацию в космологии от состояния «глубокой удовлетворенности», которая появилась после обнаружения в 1965 г. теплового изотропного радиоизлучения, названного И. С. Шкловским реликтовым, — дошедшего до нас отзвука первичного взрыва, начальных стадий расширения Вселенной. Первое четкое предсказание его существования было сделано Г. А. Гамовым еще в 40-х годах — в рамках «горячей» модели ранней Вселенной.

Согласно этой модели, в начале расширения Вселенной вещество непрозрачно для излучения; его температура в первые доли секунды расширения превышает 10^{10} К. Примерно через четыреста тысяч лет после начала расширения, когда плотность Вселенной уменьшилась и была лишь в миллиарды раз выше современной, вещество стало прозрачным для излучения. Тогда энергия этого излучения соответствовала температуре в 3000–4000 К. После этого вследствие расширения Вселенной длина волны увеличилась, энергия реликтового излучения упала, и его температура соответствует теперь 3 К.

Это изотропное радиоизлучение было открыто случайно инженерами американской телефонной компании Белл, хотя А. Г. Дорошкевич и И. Д. Новиков в 1964 г. указали, что поиски такого излучения в диапазоне сантиметровых и миллиметровых волн могут дать средство проверки модели «горячей» протовселенной, предложенной Г. Гамовым более 20 лет назад. Открытие реликтового радиоизлучения — очень серьезный аргумент в пользу расширения Вселенной из сверхплотного состояния. Лучших объяснений трехградусного радиоизлучения не существует.

Заметим, что астрономы дважды упускали возможность открыть реликтовое излучение до 1965 г. Еще в 1941 г. Мак-Келлар отметил, что для возбуждения межзвездных линий молекул CN нужна температура около 2,3 К, но что возбуждает эти молекулы, оставалось неясным до открытия реликтового

излучения. Затем Т. А. Шмаонов, аспирант С. Э. Хайкина в Пулкове, испытывая построенный им радиотелескоп на волне 3 см, обнаружил однородное фоновое излучение с температурой 2—8 К. Точность оценки этой температуры была невысока, и на работу тогда не обратили внимания, хотя публикация (в техническом журнале) была в 1957 г. Если бы И. Д. Новиков и А. Г. Дорошкевич знали о ней в 1964 г., честь открытия реликтового радиоизлучения принадлежала бы нашей стране...

Впрочем, ученики Я. Б. Зельдовича придерживались тогда, как и он сам, «холодной» модели Вселенной, а реликтовое излучение предсказано было «горячей» моделью, в рамках которой и водород и гелий возникают на самых ранних стадиях расширения Вселенной (а более тяжелые элементы — при ядерных реакциях внутри звезд). Согласно же холодной модели, уже гелий вырабатывался лишь в звездах и его содержание в самых старых звездах должно быть невелико. К сожалению, Я. Б. Зельдович не придал должного значения словам М. С. Фролова, который убеждал его в том, что без высокого содержания гелия переменные звезды типа RR Лиры не могли бы пульсировать — а эти звезды населения II, бесспорно, являются старейшими...

Ускорение расширения

После открытия реликтового излучения в наблюдательной космологии вплоть до 1998 г. не было сравнимых по значению событий. Чисто астрономические работы, долгое накапливание наблюдательных данных привели в этом году к выводам, которые изменили лицо космологии. Предпосылкой этого неожиданного развития было постепенно распространявшееся убеждение, что сверхновые типа Ia имеют не только очень высокую (абсолютная величина — 19), но, как показали наблюдения этих звезд в достаточно близких галактиках с известным расстоянием, и почти одинаковую светимость. Точнее говоря, как показал Ю. П. Псковский еще в 1970-х годах, она зависит легко определяемым образом — при наличии достаточного

числа наблюдений — от скорости падения блеска. В 90-х годах эта зависимость была уточнена; было также показано, что по спектральным особенностям можно оценить время, прошедшее с начала вспышки; все это позволяет сказать, каков был блеск звезды в момент максимума. Таким образом, сверхновые Ia становились той самой стандартной свечой высокой светимости, — блеск сверхновых в максимуме сравним с блеском всей небольшой галактики — которая была так нужна для решения космологической проблемы.

Попытки использовать эти звезды для задач космологии начались довольно давно. Первым систематическим поиском далеких сверхновых с «космологической» сверхзадачей была работа датских астрономов на 1,5-метровом телескопе Европейской Южной обсерватории, результаты которой были опубликованы в 1988 г. Они были довольно неопределенными (за два года была найдена лишь одна далекая Сверхновая типа Ia), но обещающими. Проблема состояла в трудности получения наблюдательного времени на больших телескопах. Комитеты, распределяющие время больших телескопов, терпеть не могут заявки на работы типа поисков, слежения, обзоров; эти телескопы ведь предназначены для изучения уникальных объектов, а не тривиального слежения за блеском или поисков новых переменных звезд...

Успех пришел в 1997 г. одновременно к двум командам. Одна из них была сформирована в 1988 г. в Национальной лаборатории им. Лоуренса в США и состояла в основном из физиков, ее возглавил С. Перлмуттер; другую команду, из астрономов, возглавил в 1994 г. Б. Шмидт, работавший на Обсерваториях Маунт Стромло и Сайдинг Спринг в Австралии. Эти команды получили доступ к 4-метровым телескопам на этих обсерваториях и на Серро Тололо, а позднее и к HST и 10-метровому Кеck телескопу. На последнем получали спектральные данные, которые, между прочим, показали, что у далеких сверхновых аналогичные спектральные изменения свершаются в $(1 + z)$ раз медленнее, чем у более близких, — еще одно доказательство доплеровской природы красного смещения.

Наблюдательная стратегия была хорошо продумана — слежение велось сразу за 50—100 достаточно большими полями, содержащими порядка тысячи галактик каждое, повторные изображения получались через три недели, так что можно было построить надежные кривые блеска. Команда физиков первой объявила, в январе 1998 г., на основании данных о 42 Сверхновых, что во Вселенной доминирует сила отталкивания и она расширяется в современную эпоху с ускорением (рис. 10.1 и 10.2). Вскоре аналогичное заключение опубликовала более осторожная команда астрономов, которая, однако, первой опубликовала подробную статью. Звезд у нее было меньше, но меньше и значения ошибок. Спор о приоритете не возник, тем более что некоторые астрономы переходили из команды в команду.

Результаты казались — и некоторым кажутся и сейчас — невероятными. Далекие сверхновые оказались систематически более слабыми, чем ожидалось по линейному закону Хаббла, и это означало, что Вселенная расширяется с ускорением. Это равносильно утверждению, что космологическая постоянная

не равна нулю, а имеет положительный знак. С. Перлмуттер рассказывает, что после его выступления с сообщением об открытии, один знаменитый физик-теоретик заметил, что эти наблюдательные результаты должны быть ошибочными, поскольку космологическая постоянная *должна* быть очень близкой к нулю. Б. Шмидт сказал в 1998 г. одному журналисту, что он испытывал не только изумление, но и ужас, поскольку большинство астрономов, подобно ему самому, чрезвычайно скептически относится к неожиданным результатам. Однако о надежности результатов говорили близость независимых

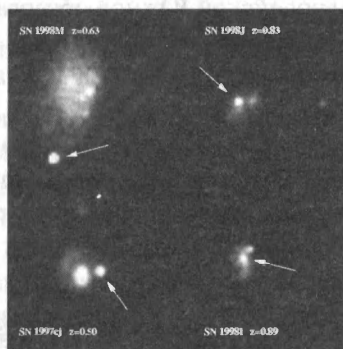


Рис. 10.1. Некоторые из далеких сверхновых, взорвавших космологию. Указаны величины их красного смещения.

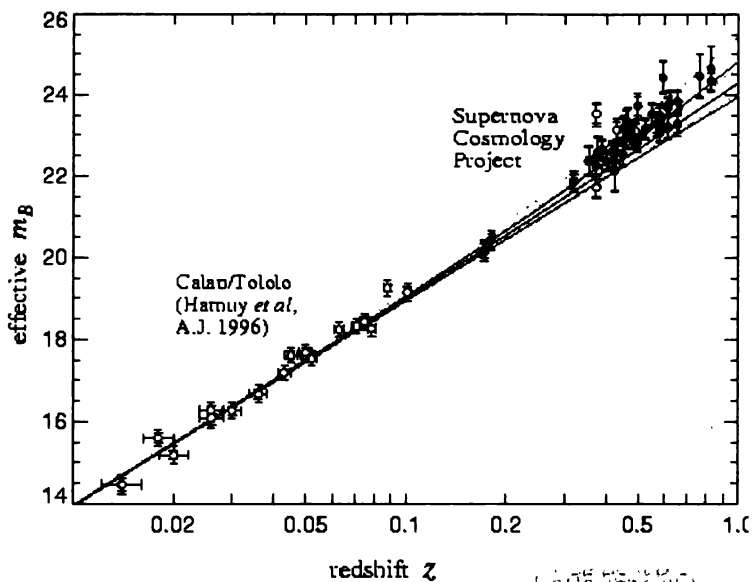


Рис. 10.2. Зависимость от красного смещения звездных величин в максимуме блеска для сверхновых Ia (данные Перлмуттера и др., 1998). Уклонение вверх, в сторону меньшего блеска более далеких Сверхновых от прямой линии (линейного закона Хаббла) означает, что Вселенная расширяется ускоренно.

выводов двух команд, полученных по практически не перекрывающимся (лишь 2 общих объекта) выборкам сверхновых, и тщательный анализ всех возможных источников ошибок, в первую очередь из-за неточного учета поглощения света и систематического отличия характеристик далеких (возникших из более молодых звезд) и близких Сверхновых.

Последующие наблюдения подтвердили первоначальные выводы и показали также — на этот раз в соответствии с ожиданиями — что самые далекие сверхновые уклоняются вниз (в сторону большей яркости) от линейной зависимости блеска от фотометрического расстояния. Это означает, что в еще более далекие времена Вселенная расширялась с замедлением — потому что в те времена она была более плотной

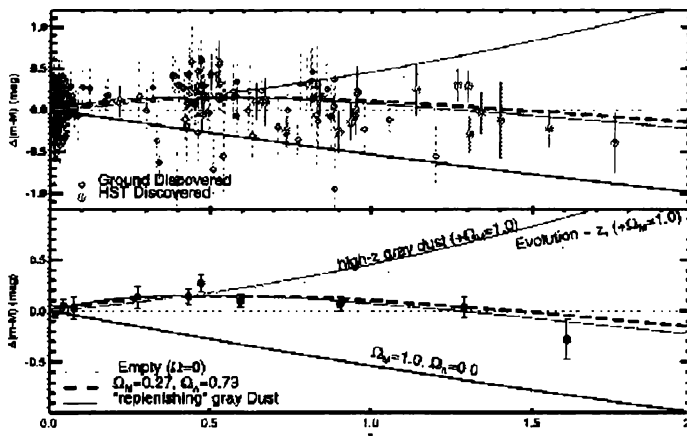


Рис. 10.3. Диаграмма блеск – красное смещение для далеких сверхновых (данные А. Риеса и др., 2004). Видно, что самые далекие сверхновые ярче, чем ожидается по линейному закону Хаббла — в те более далекие времена Вселенная расширялась замедленно.

и гравитация еще тормозила расширение. Как показывают опубликованные в 2004 г. данные о 7 самых далеких сверхновых (с $z > 1,25$) и о 180 более близких, победа антигравитации над тяготением свершилась около 6 млрд. лет назад: переход от замедления к ускорению расширения Вселенной наблюдается при $z = 0,46 \pm 0,13$ (рис. 10.3). Специальные программы, идущие на больших телескопах, и специализированные спутники, планируемые к запуску в ближайшие годы, должны окончательно решить вопрос.

Сказка или быль?

Данные о сверхновых в далеких галактиках и параметры флуктуаций фона реликтового излучения, полученные на спутнике WMAP, приводят (на начало 2005 г.) к таким внутренне согласованным данным о нашей Вселенной:

Возраст Вселенной — 13.7 млрд. лет (ошибка 1%).

Постоянная Хаббла H_0 — 71 км/с/Мпк (ошибка 5%).

Отделение вещества от излучения произошло при возрасте Вселенной в 379 000 лет.

Вселенная плоская (Эвклидова — сумма углов в треугольнике на всех масштабах равна π), ее плотность равна критической и она будет расширяться вечно.

Точность этих данных представляется сказочно высокой. Методика, по которой они получены, не вполне ясна даже для специалистов, не связанных с командой, работающей на орбитальном телескопе Wilkinson MAP... Проблемы, которые мучили астрономов с 1929 г., кажутся решенными, как по мановению руки волшебника.

Многие астрономы считают точность данных, которые приводит команда телескопа WMAP, завышенной. Эта команда пока, до запуска орбитального телескопа *Planck*, является монопольным обладателем данных о спектре флуктуаций фона реликтового излучения. Последние агентурные данные позволяют считать, что и в этом эксперименте, как и в предшествующих, не удалось полностью избавиться от влияния флуктуаций переднего фона, связанных просто с наличием в нашей Галактике многочисленных облаков горячего газа. Однако хотя и можно оспаривать величины ошибок, трудно спорить с выводом о том, что наблюдаемые нами звезды и газ (а точнее, барионное вещество), вкладывают лишь 4% в плотность Вселенной. Еще 26% дает небарионное темное вещество — ненаблюдаемая, но гравитирующая темная материя, о которой шла речь в главе 8. И, наконец, 70% дает темная энергия, которая вызывает ускоренное ныне расширение Вселенной. Скорее всего, именно она представлена космологическим членом в уравнениях Эйнштейна.

Доля барионов

Доля критической плотности, приходящаяся на барионы, оценивается по данным о химическом и изотопном составе газовых облаков с помощью теории первичного нуклеосинтеза. Согласно этой теории, в первые минуты расширения

Вселенной в ее горячем и плотном тогда веществе происходили термоядерные реакции, определившие состав первичного вещества. Относительные количества образовавшихся тогда лития, изотопа водорода дейтерия и изотопа гелия связаны известными теоретическими соотношениями с барионной плотностью Вселенной. Принципиальная трудность тут состоит в оценке степени загрязнения вещества газовых облаков выбросами из недр звезд, в которых и поныне идут процессы нуклеосинтеза. Это происходит при взрывах сверхновых звезд и при рассеянии в пространстве вещества планетарных туманностей — обширных оболочек вокруг старых звезд небольшой массы.

Особенно удобен для таких измерений изотоп гелий-3, поскольку этот инертный газ не входит в химические соединения. Однако согласно теории эволюции звезд, он вырабатывается в недрах маломассивных звезд и следовательно может поступать из них в межзвездное пространство и «загрязнять» газовые облака. Действительно, в некоторых планетарных туманностях найдено высокое содержание гелия-3. Однако наблюдая линию этого изотопа на волне 3,46 см, Т. Бания и др. нашли в 2002 г., после 20 лет работы, что доля этого изотопа гелия по отношению к водороду не изменяется с расстоянием от центра Галактики, а также и со временем — в древнем веществе Солнечной системы она такова же, как и в межзвездных облаках в наши дни. Поскольку старых маломассивных звезд намного больше ближе к центру Галактики, постоянство содержания гелия-3 является сильным аргументом в пользу его «космологического» происхождения. По всей видимости, производимый в недрах звезд этот изотоп сгорает в их внешних слоях, куда он поступает вследствие перемешивания вещества при быстром вращении звезд. Имеющиеся данные показывают, что лишь 10% звезд вращаются для этого недостаточно быстро. В результате Бания и др. заключили, что при постоянной Хаббла 72 км/с/Мпк, наиболее вероятное значение барионной плотности Вселенной составляет, в долях критической плотности, 0,04.

Видимые, еще не потухшие и не провалившиеся в черные дыры звезды, наши любимые звезды, составляют не более 1 процента массы Вселенной. Большая доля барионов приходится на горячий газ, наблюдаемый в скоплениях галактик и между ними. А еще недавно мы считали звезды самыми важными объектами. Впрочем, почти все наши знания о Вселенной, в том числе и о ее скрытой от глаз составляющей, пришли именно от наблюдений звезд. Они составляют вершину айсберга, по которой обнаруживается само его существование.

Темная энергия вакуума

Природа темной энергии, доминирующей во Вселенной и вызывающей ее ускоренное расширение, еще остается дискуссионной. Некоторые авторы считают необходимым ввести новую сущность, «квинтэссенцию», новое физическое поле, для которого эффективная гравитационная плотность отрицательна, и которое, следовательно, способно создать антигравитацию, ведущую к ускорению расширения Вселенной. Однако не следует вводить новые сущности без необходимости. Таким же свойством отрицательного давления обладает космический вакуум, который присутствует повсюду.

Он фигурирует и в физике микромира, представляя собой наинизшее энергетическое состояние квантовых полей. Именно в нем происходят взаимодействия элементарных частиц; реальность физического вакуума — бесспорный экспериментальный факт, проявляющийся в давно известном лэмбовском сдвиге спектральных линий атомов и в эффекте Казимира. Однако плотность его энергии не поддается измерению в физическом эксперименте, — для этого нужны космические просторы; всю эту проблему относят к числу самых сложных в фундаментальной физике. И вот теперь астрономия дает ответ на этот вопрос, — плотность Вселенной известна и плотность энергии вакуума положительна. Это означает, что давление вакуума (в общем случае равное плотности со знаком минус) отрицательно — таково свойство этого состояния космической

энергии, наряду с постоянной во времени, всюду одинаковой в любой системе отсчета плотностью. Отрицательное давление вакуума позволило астрономам представить убедительные аргументы в пользу того, что космическое отталкивание обусловлено именно плотностью энергии вакуума, одновременно разрешив глубокий парадокс, существование которого заметил А. Сендидж в 1972 г., и на который странным образом не обращали внимания.

Дело в том, что, согласно теории, космологическое расширение происходит в однородном и изотропном мире. Хаббл располагал данными лишь до расстояний (в современной шкале) около 20 Мпк (он-то думал, что до скопления Девы всего лишь 2 Мпк) однако же нашел, что скорости удаления галактик линейно зависят от расстояния. Но мы ведь знаем теперь, что однородность и изотропность во Вселенной наступают лишь на масштабах, превышающих 100–300 Мпк. Казалось бы, только на столь больших расстояниях можно определять постоянную Хаббла — однако она имеет далеко от нас ту же величину, что и на расстояниях 1,5–2 Мпк. Как заключил в 1972 г. А. Сендидж, локальный темп расширения Вселенной совпадает с глобальным с точностью не хуже 10%. Аналогичный вывод следует из результатов работ И. Д. Караченцева и его группы в Специальной астрофизической обсерватории РАН, определивших точные расстояния множества достаточно близких галактик с помощью БТА и HST. Похоже, что никто раньше не обращал внимания на странность этого обстоятельства, которое можно назвать парадоксом Сендиджа. Разрешить его Сендидж не смог; в 1999 г. он писал, что «мы так и остаемся с этой тайной»...

Весьма вероятно, что в 2000 г. она была разгадана. Согласно А. Д. Чернину, П. Теерикорпи и Ю. В. Барышеву, парадокс объясняется тем, что именно вакуум определяет динамику Вселенной. В 2003 г. А. Сендидж признал это объяснение наиболее вероятным. Крупномасштабная кинематика галактик является однородной, регулярной даже в тех малых объемах, в которых их пространственное распределение весьма

иррегулярно. Крупномасштабная динамика галактики управляется не гравитацией, а вакуумом уже на расстояниях порядка 1,5–2 Мпк от нас. Плотность его одинакова везде, и именно она и задает темп расширения — постоянную Хаббла. Большие скопления галактик имеют больший размер и это должно означать, что внутри них на движения галактик влияет не только гравитация, но и вакуум. Признаки этого недавно обнаружили И. Д. Караченцев и А. Д. Чернин — на первый взгляд, они выглядят как различие характеристик темного гравитирующего вещества в скоплениях и в самих галактиках.

Вакуум не может служить системой отсчета, он всегда и везде одинаков, покой и движение относительно него не различимы; его динамический эффект не зависит ни от движений, ни от распределения галактик в пространстве. Это дает ответ и на вопрос, почему на значениях постоянной Хаббла, определяемых по разным выборкам, не сказывается и движение нашей Местной системы по направлению к скоплению в Деве, равно как и движение окрестных скоплений галактик по направлению к сверхскоплению, известному как Большой аттрактор. Таким образом, исходя из объяснения ускоренного расширения Вселенной благодаря космическому вакууму, Чернин и его коллеги нашли и естественное объяснение парадокса Сендиджа. Концепция же квинтэссенции придумана *ad hoc* — она предложена потому, что даваемая астрономическими наблюдениями плотность энергии вакуума несовместима с убеждениями многих физиков. Есть надежда, что сделать выбор между двумя возможными формами «темной энергии» позволят начатые недавно измерения искажений формы галактик в скоплениях, связанные с эффектом гравитационного линзирования.

Триумф астрофизики

Итак, все сходится к тому, что астрономы сумели измерить величину, о знании которой давно мечтали физики — плотность энергии вакуума. Результат оказался неожиданным.

Ожидалось, что такая фундаментальная величина должна иметь какое-то выделенное значение, — либо нулевое, либо же определяемое планковской плотностью. Однако наблюдаемое значение плотности меньше планковского на 123 порядка — и все же оно отнюдь не нулевое! Это ставит трудные проблемы перед фундаментальной физикой.

Открытие ускоренного расширения Вселенной вдохнуло новую жизнь и в стационарную космологию Бонди—Хойла, которая предполагает, что несмотря на расширение Вселенной, ее средняя плотность остается постоянной. Сила отталкивания в этой космологии генерируется тем же самым С-полем, которое создает новое вещество в сильном гравитационном поле уже существующих объектов, например черных дыр всевозможных масс (вспомним мнение Х. Арпа о природе квазаров). Дж. Нарликар, Р. Вишвакарма и Дж. Бербидж, сотрудники и союзники покойного Ф. Хойла, заключили в 2002 г., что данные о далеких сверхновых согласуются с ее предсказаниями. В рамках стационарной космологии вывод о том, что расширение Вселенной должно быть именно ускоренно, был сделан еще в 1948 г., и эти авторы не без ехидства замечают, что тридцать лет назад диаграммы красное смещение—расстояние галактик указывали на замедленное расширение Вселенной и рассматривались как опровержение стационарной космологии. Реликтовое излучение Нарликар и др. объясняют рассеянием света звезд на межгалактических металлических частицах пыли, образующейся при взрывах сверхновых. Поглощение света на этой пыли может быть ответственно и за большие отклонения некоторых сверхновых на графике расстояние—красное смещение.

Окончательные данные о характере расширения Вселенной будут вскоре получены при наблюдениях большего количества сверхновых типа Ia, в том числе и при больших красных смещениях. Эта задача из рутинной превратилась едва ли не в самую актуальную не только для астрономии, но и для физики. Заметим, что концепция вечного первичного вакуума в некотором смысле соответствует той же философской идее вечной

самоидентичности Мироздания в целом, что и концепция стационарной Вселенной.

Похоже, что астрономы в итоге XX века оказались у разбитого корыта? Но нет, это ведь они доказали, что физика занималась лишь несколькими процентами содержания Вселенной — и они же дали уникальные ограничения на природу темной материи и плотность вакуума, чего физика, а точнее негравитационная физика, в принципе бессильна сделать.

Правда, некоторые специалисты полагают, что в настоящее время вопрос о том, понимаем ли мы Вселенную в целом, является открытым. Поразительным является то обстоятельство, что более 95% ее вещества/энергии открывается нам лишь в астрономических наблюдениях и лишь косвенным образом. Трудно привыкнуть и к мысли, что лишь 20–30% плотности энергии/массы Вселенной обусловлено веществом (и, в основном, неизвестно каким), а большая часть принадлежит черт знает чему — вакууму и/или новому физическому полю («квинтэссенции»).

Но это не поражение науки, а свидетельство ее неисчерпаемых возможностей. Пути решения проблем известны, старое знание не отрицается; Фридмановский этап расширения Вселенной существует во всех моделях. На этот этап приходится практически все время существования нашей Вселенной, долгие миллиарды лет — разве что за вычетом ничтожных первоначальных долей секунды. Общая теория относительности, квантовая хромодинамика, единая теория электрослабых взаимодействий, теория нуклеосинтеза и эволюции звезд только укрепили свои позиции.

Да, взобравшись на вершину, мы увидели новые пики. Но это не поражение и не кризис науки, а ее очередной триумф. Не исключено, что дальнейшее развитие покажет, что масштабы его сравнимы с рождением теории относительности и квантовой механики.

Кто может теперь сомневаться в том, что астрономия снова, как во времена Галилея и Ньютона, становится лидером естествознания. Телескопы превратились теперь в инструменты не

только астрономического, но и физического исследования. В 1972 г. в журнале «Природа» появилась статья Л. А. Арцимовича «Будущее принадлежит астрофизике», которой суждено было стать его научным завещанием. Он говорил о том, что потомки будут удивляться странной пропорции, в которой мы разделили средства, предназначенные для исследования мира элементарных частиц и огромного мира галактик. Вслед за этой статьей должна была появиться моя статья, озаглавленная «Нужны большие телескопы». Но в начале 1973 г. Л. А. Арцимович умер, и набор моей статьи был рассыпан. Прав оказался И. М. Копылов, первый директор САО (обсерватории 6-метрового телескопа), который сказал, прочитав ее рукопись, что статья совершенно правильная и поэтому никогда и нигде не будет опубликована...

Теперь, кажется, уже все понимают, что физика уперлась в тупик, выйти из которого можно только с помощью больших телескопов. Астрономия на наших глазах превращается в большую науку, повторяя путь, начатый ядерной физикой и физикой элементарных частиц лет 60 назад. Коллективы, публикующие работы по астрофизике высоких энергий и космологии, часто насчитывают несколько десятков соавторов, подобно статьям о столкновениях элементарных частиц в ускорителях.

Но конечно, это вовсе не означает, что физики могут закрывать свое дело, просто все больше проблем становятся воистину едиными для физики и астрофизики, как это давно имеет место, скажем, в исследованиях космических лучей, элементарных частиц, приходящих на Землю от остатков сверхновых, а может быть и от ядер галактик и квазаров — или же от коротких гамма-всплесков, слияния черных дыр. Как отмечает В. Л. Гинзбург, протоны в космических лучах иногда могут иметь энергию в 30 раз превышающую ту, которая лишь к 2007 г. будет достигнута в сталкивающихся пучках на Большом андронном коллайдере, строящемся в ЦЕРНе. Старая проблема происхождения космических частиц сверхвысоких энергий по-прежнему волнует и физиков и астрономов.

Другие вселенные?

Концепция множественных вселенных является составной частью так называемой инфляционной космологии, согласно которой в вечном океане первичного вакуума то там, то тут возникают флуктуации плотности, очень быстро раздувающиеся в протовселенные. Она считается чисто умозрительной, поскольку получить свидетельства существования других вселенных вроде бы нельзя по определению. Правда, Н.С. Кардашев («Земля и Вселенная», №4, 2002) говорит о возможности существования соединяющих разные вселенные горловин из вещества, находящегося в состоянии близком к состоянию физического вакуума. Поведение тел и излучения вблизи таких горловин может быть похоже на поведение объектов, находящихся под действием отрицательной гравитации; например, может наблюдаться отклонение света в противоположную от ожидаемой сторону. Сквозь горловину такого рода может наблюдаться вселенная, находящаяся на ранней стадии развития, и она может напоминать яркие ядра галактик... Заметим, что концепция множественных вселенных, возникающих как флуктуации вечного самоподобного первичного вакуума, делает окончательно ненужной гипотезу Бога-Творца.

Представление о существовании множества других вселенных является неизбежным выводом современной космологии и, вместе с тем, самым экономным объяснением парадокса, известного под именем антропного принципа — тонкой подгонки множества параметров (нашей) Вселенной к возможности появления и существования изучающего Вселенную НАШЕГО разума. Эта терминология была предложена Б. Картером в 1974г., но аналогичные идеи высказывались неоднократно и ранее, в частности А.Л. Зельмановым, Г.М. Идлисом и И.Л. Розенталем. Недавно В.В. Казютинский обнаружил, что формулировки, которые почти дословно повторяются ныне, в том числе и о множественности вселенных, появились еще в работе А. Уолесса, соперника-соратника

Ч. Дарвина, «Место человека во Вселенной», изданной на русском языке еще в 1904 г. Одна из самых ранних формулировок, близких по духу к антропному принципу, принадлежит К. Г. Циолковскому: «Тот космос, который мы знаем, не может быть иным».

В 1967 г. о зарождении «новой космологии, которая противостоит физической» писал В. А. Лефевр. Он видел ее задачу в том, чтобы «включить биологическую действительность в картину мира, как некоторую «норму», которая в ней естественна и необходима. Представляется целесообразным рассмотреть возможные модели и некоторые принципы их построения, в которых, с одной стороны — «живые организмы» и «цивилизации», а с другой — феномены «физической картины» выступили бы как различные проявления некоторой единой конструкции».

Ныне В. А. Лефевр (в книге «Космический субъект») отмечает, что необходимость включения биологии и разума в картину мира, как его неотъемлемой и необходимой части, есть одна из возможных формулировок сильного антропного принципа, утверждающего, что приемлемы лишь такие начальные условия, при которых наблюдатель, подобный нам, с неизбежностью должен появиться.

Затем аналогичная задача была поставлена и на другой стороне горы, сквозь которую предстоит прокопать туннель. Известный космолог А. Д. Линде писал в 1990 г.: «Не может ли быть так, что сознание, как и пространство-время, имеет свои собственные степени свободы, без учета которых описание Вселенной будет принципиально неполным? Не окажется ли при дальнейшем развитии науки, что изучение Вселенной и изучение сознания неразрывно связаны друг с другом, и что окончательный прогресс в одной области невозможен без прогресса в другой? После создания единого геометрического описания слабых, сильных, электромагнитных и гравитационных взаимодействий не станет ли следующим важнейшим этапом развитие единого подхода ко всему нашему миру, включая и внутренний мир человека?»

Итак, развитие космологии поставило на научную почву старую идею о существовании множества вселенных, с самой разнообразной физикой в каждой из них, в том числе и с пригодной для нашего существования.

«...Вселенная в целом будет существовать вечно, нескончаемо порождая новые и новые экспоненциально большие области, в которых законы низкоэнергетического взаимодействия элементарных частиц и даже эффективная размерность пространства-времени могут быть различны... Мы знаем наверняка, что жизнь снова и снова будет зарождаться в разных областях Вселенной во всех своих возможных видах», — писал А. Д. Линде.

Очевидно, что в ансамбле множества вселенных, которые выше фигурируют как «экспоненциально большие области» (Вселенной с большой буквы лучше называть ту, в которой мы живем) может найтись (и, поскольку мы существуем, действительно нашлось) место и для такой, физические законы в которой совместимы с существованием сложных структур и, в конечном счете, человека — для нашей Вселенной.

Смелая попытка оценить возможное число вселенных с разными параметрами принадлежит И. Л. Розенталю, — их число должно быть не менее, чем 10^{50} . Он исходит из оценок вероятности совместной тонкой «подгонки» ряда параметров микромира к возможности существования известных нам структур и законов физики. Так, достаточно увеличить массу электрона в три раза, чтобы при тех сравнительно низких температурах, когда шло образование галактик, стала возможна реакция соединения протона с электроном и образованием нейтрона и нейтрино. Всё во Вселенной состояло бы из одних нейтронов... Но масса электрона почему-то — к счастью для нас — в сотни раз меньше массы любой другой элементарной частицы. Далее, ядро дейтерия, состоящее из протона и нейтрона, устойчиво только потому, что разница масс этих частиц очень невелика. Эта устойчивость обеспечивает возможность синтеза более тяжелых элементов. И вот оказывается, что различие масс во всех других семействах элементарных

частиц намного больше, чем у протонов и нейтронов — и т. д. Перемножение вероятностей такого рода маловероятных удач и дает число 10^{50} для вероятности возникновения вселенной (нашей Вселенной!), обладающей всеми такого рода странностями одновременно...

Ситуация немножко напоминает ту, с которой каждый из нас столкнулся в раннем детстве: почему я — это Я? После свершения события вероятность его становится равна единице, сколь не были бы низки ее оценки до эксперимента. А без этой удачи некому было бы и задавать вопросы.

Ныне мы знаем, где проходит граница нашего незнания. Граница эта непрерывно отодвигается от нас в сторону бесконечно малого и бесконечно большого — а внутри нее наше знание подтверждается гигантским массивом взаимосвязанных данных и общечеловеческой практикой. Мы дети нашей Вселенной, мы не появились и не выжили бы в ней, если б изначально не отражали адекватно ее объективные законы, — только поэтому мы и обладаем способностью понять ее.

Глава 11. МЫ НЕ ОДНИ?

Вечное молчание этих бесконечных пространств ужасает меня.

Блез Паскаль

История поисков ВЦ

Можно ли поверить, что во всей этой огромной Вселенной только мы, разумные существа на Земле, понимаем, где мы живем? Однако же единственный достоверный факт в проблеме поисков внеземного разума — это факт нашего собственного существования. Это простой факт, но огромного значения, подобно тому, как величайший секрет атомной бомбы состоял с лета 1945 г. просто в том, что ее МОЖНО сделать. Разум МОЖЕТ существовать во Вселенной! Однако мы дошли до ее края, мы поняли механизм звезд, обнаружили вокруг них планеты, нашли вроде бы следы жизни на метеоритах, прибывших с Марса — но где же следы разумной жизни? Проблема бросает вызов современному научному знанию — оно может быть существенно не полно. Но если мы одни — это тем более непонятно...

Средства поисков возможных братьев по разуму предлагались давно и каждый раз соответствующими своему времени. Это, конечно, не только естественная, но и единственно возможная ситуация, однако при этом почти всегда предполагалось, что у внеземной цивилизации те же технические возможности, что и у нас.

В XIX веке предлагалось рисовать знаки на земной поверхности с помощью гигантских просек в лесах или каналов, которые можно было бы заметить с Марса. Были, однако, и

предложения, опередившие свое время. Л. М. Гиндилис обнаружил недавно, что российский ученый финского происхождения Э. Неовиус в 1876 г. опубликовал в Гельсингфорсе (Хельсинки) книгу «Величайшая задача нашего времени», в которой предлагался совершенно конкретный и реальный проект связи с обитателями планет Солнечной системы с помощью световых сигналов. Неовиус не только показал техническую возможность осуществления такой связи, но и рассмотрел семантические проблемы контакта. Он построил язык для космической связи на принципах математической логики, опередив в этом отношении язык «Линкос» Фройдентала на несколько десятилетий. Неовиус рассмотрел и экономические аспекты проекта и, ясно сознавая, что затраты на его осуществление не под силу одной стране, предложил международное сотрудничество в этой области. В то время просвещенная Европа зачитывалась книгами К. Фламариона о множественности обитаемых миров, но работа Неовиуса осталась незамеченной. Он на столетие опередил свое время.

Считается, что современная научная постановка проблемы связи с внеземными цивилизациями (ВЦ) относится к 1959 г., когда в журнале «*Nature*» была опубликована статья Дж. Коккони и Ф. Моррисона, в которой они проанализировали возможности радиосвязи с обитателями ближайших звезд. Они показали, что если использовать близкую к нашей технику связи, то мы способны обнаружить их сигналы. Это стимулировало начало работ по поиску сигналов ВЦ.

Первые эксперименты по поиску сигналов ВЦ были проведены Ф. Дрейком в 1960 г. на Национальной радиоастрономической обсерватории США в Грин Бэнк. С тех пор в различных странах проведены десятки экспериментов в различных диапазонах электромагнитных волн, разрабатывались различные стратегии и методики поиска. Наблюдения продолжают по сей день — результата нет.

Точнее говоря, один единственный раз в ходе этих поисков был зарегистрирован сигнал, искусственное внеземное происхождение которого не может быть отвергнуто. 15 августа

1976 г. на радиоастрономической обсерватории университета штата Огайо был зарегистрирован на длине волны 21 см узкополосный короткий сигнал такой силы, что на регистрирующей ленте его положение было отмечено словом «wow» — ого! Никогда больше ничего подобного не наблюдалось, в том числе и при наведении радиотелескопа на координаты этого источника. Вероятность земного происхождения такого сигнала весьма невелика, а недавно была отвергнута и еще одна возможность — усиление слабого стационарного сигнала в результате прохождения через неоднородности межзвездной среды. Наблюдения на VLA (большой системе радиотелескопов) показали, что на месте сигнала «wow» в пределах ошибок координат (это сравнительно недалеко от направления на центр Галактики) есть лишь два весьма слабых радиоисточника с вполне обычными характеристиками, которые не могли быть кратковременно усилены до такой степени. Ничего необычного, помимо плотного звездного фона Млечного Пути, не видно на этом месте и в оптическом диапазоне. Впрочем, внегалактические объекты скрыты поглощением света.

Остаются безуспешными и поиски сигналов в других диапазонах спектра электромагнитных излучений. Оптический и рентгеновский диапазоны имеют то преимущество, что темп передачи информации в них намного выше, чем в радио. А. Д. Сахаров в 1971 г. и Эллиот в 1973 г. предложили использовать ядерный взрыв для получения мощной оптической и рентгеновской вспышки. По мысли А. Д. Сахарова, устройство взрывается за пределами планетной системы. Энергия взрыва трансформируется в короткий световой импульс, который можно обнаружить на расстоянии ближайших звезд.

А. Фабиан отметил в 1977 г., что модуляцию рентгеновского потока от звезд можно получить преобразованием массы в энергию с к.п.д. 10%. Можно, например, бросать астероид на нейтронную звезду. Через 20 лет Р. Корбет предположил, что рентгеновские двойные звезды могут служить маяками ВЦ. Их мало, они яркие, высокоэнергичные, рентгеновское излучение не поглощается в межзвездной среде (в отличие

от оптического) и не диспергируется (в отличие от радиоизлучения). Эти объекты интересны, их изучают все. К тому же, в принципе, можно модулировать это излучение, бросая планеты на нейтронную звезду. В 1998 г. В. А. Лефевр и Ю. Н. Ефремов даже указали возможный пример искусственной модуляции рентгеновского потока у одной из таких звезд — объекта, известного как Быстрый барстер, находящегося в шаровом скоплении *Liller 1*.

Гибель цивилизации?

Так или иначе, никаких надежно установленных признаков существования внеземного разума нет. Размышляя над проблемой молчания космоса, И. С. Шкловский, основоположник исследований проблемы внеземного разума в нашей стране, пришел к 1976 г. к согласию с пессимистами, полагавшими, что отсутствие «космических чудес» означает наше одиночество во Вселенной. Если жизнь и разум и должны были зародиться на множестве планет у других звезд с подобными земным условиям, то достигнув определенной стадии развития, разум погибает, — заключил Шкловский. Действительно, для земной цивилизации возможность дать знать о себе появилась одновременно с возможностью самоуничтожения... И когда однажды я высказал ему идею, что надеяться можно только на случайный перехват «разговора» двух цивилизаций — и поэтому надо обращать внимание на необычные явления в диаметрально противоположных точках неба, И. С. Шкловский только печально улыбнулся — ведь это означало бы, что существует целых три цивилизации и находятся они на одной прямой...

Молчание космоса представляет собой важнейший научный факт. Нет никаких очевидных признаков активности сверхмогучих цивилизаций — а ведь всего через несколько миллионов лет цивилизация, первоначально подобная нашей и технологически развивающаяся с нашими современными темпами, могла бы овладеть ресурсами всей Галактики. И в нашей Солнечной системе должны быть явные следы ИХ

существования — где же ОНИ? Такая формулировка проблемы принадлежит итальянскому физiku Э. Ферми. Впрочем, говорят, что его вопрос относился к коллегам, которых он поджидал в столовой Чикагского университета...

Вывод, сделанный И. С. Шкловским, был печален — разум является чем-то вроде сверхспециализированного гипертрофированного приспособления, вроде клыков саблезубого тигра, сначала помогающих в борьбе за выживание, но причиняющих только вред при изменении внешних условий. Он заключил, что «Став на точку зрения, что разум — это только одно из бесчисленных изобретений эволюционного процесса, да к тому же, не исключено, приводящее вид, награжденный им, к эволюционному тупику, мы, во-первых, лучше поймем место человека во Вселенной и, во-вторых, объясним, почему не наблюдаются космические чудеса».

Этот вывод, однако, можно оспорить. Л. М. Гиндилис анализирует различные причины, которые могут объяснить молчание Космоса в своей интереснейшей книге («SETI: поиск внеземного разума», М., Физматлит, 2004. Не стоит только принимать во внимание ссылки на Блаватскую, авантюристку и мошенницу). Л. М. Гиндилис считает вполне вероятным, что мы ИХ уже наблюдаем, но не осознаем этого. Этой позиции придерживается С. Лем, как можно понять из высказываний, рассеянных по его книгам. Абсолютной необходимости придерживаться пессимистической точки зрения позднего Шкловского не существует.

Рассмотрим, однако, что говорит наш земной опыт и современные знания о вероятности гибели цивилизации до или вскоре после достижения нашего нынешнего технологического уровня. Эволюция жизни на Земле несколько раз приостанавливалась вследствие вмешательства космических сил, когда многие виды погибали. Последний раз массовое вымирание произошло около 65 млн. лет назад: его приписывают падению достаточно массивного астероида. Ныне мы уже способны обнаружить астероид достаточно далеко от Земли и заблаговременно попытаться отклонить его с опасной орбиты,

если масса его не слишком велика. Любопытно, что средства спасения цивилизации от данной опасности те же самые, что были разработаны для войны, способной ее уничтожить. Так или иначе, опыт Земли показывает, что промежутки между глобальными катастрофами достаточно велики для того, чтобы цивилизация успела стать достаточно могущественной, чтобы их пережить или предотвратить.

Взрывы близких сверхновых или даже далеких гамма-всплесков неотвратимы и губительны, но достаточно редки, как опять же свидетельствует история Земли. Считается, что в любую минуту может вспыхнуть как гиперновая, сопровождаемая всплеском гамма-излучения, массивный сверхгигант

Киля в 2 кпк от нас, но, судя по форме ее оболочки, в диаграмму направленности ее гамма-излучения Солнечная система не попадет.

Внутренние причины, воздействующие именно на цивилизованное общество, представляются более вероятными механизмами его гибели. Тотальная ядерная война снова становится сейчас одной из возможностей, как следствие вышедших из под контроля событий, первоначально спровоцированных религиозными фанатиками. Эпидемию СПИДа или оспы или новых мутантных микроорганизмов нельзя исключить, хотя более вероятной, как и в случае тотальной войны, будет лишь задержка развития, а не гибель цивилизации. Человечество неоднократно переживало эпидемии чумы, не имея никаких средств защиты. От чумы XIV века погибла почти половина населения Европы.

Другое дело — причины, так сказать, нематериальные. На Земле известно несколько погибших, некогда высокоразвитых цивилизаций; те, начало которых теряются в прошлом (например, Китай) очень немногочисленны. Поскольку корни современной науки находятся в античном обществе, наибольший интерес представляют причины гибели именно античной цивилизации, которая сумела возродиться в Европе в XIV—XVII веках и породила современную науку. Каковы были причины? Чума 188 г. способствовала упадку Римской империи,

но не была его причиной, как, вероятно, и нашествие варваров или отравление свинцом из водопроводных труб и сосудов или непроизводительность рабского труда. Какое-то изменение настроения общества, системы его ценностей привело к упадку. Ни рычаги Архимеда, ни даже паровая вертушка Гиерона — прототип турбины — не привели к развитию техники.

Распространение христианства, осуждавшего рабовладение и вместе с тем обещавшего своим приверженцам вечную загробную жизнь, уменьшало интерес к жизни земной и стремление к разгадке тайн природы. Центр науки и культуры, Александрийская библиотека, уникальная по своим богатствам, была разгромлена в IV веке христианскими фанатиками (не пощадившими и первую женщину-астронома Гипатию, дочь Теона, комментатора Птолемея), а в VIII веке дело завершили фанатики мусульманские. Афинская академия была закрыта в VI веке, но упадок греческой науки и философии начался намного раньше, без ярко выраженных внешних причин. Понадобилось полтора тысячелетия, прежде чем Европейская астрономия достигла уровня древнегреческой.

Спрашивается, стало бы Возрождение возможно, если бы арабы не поддерживали уровень, достигнутый в астрономии Гиппархом и Птолемеем — в те годы, когда христианская церковь устами Козьмы Индиклоплова учила, что Земля имеет форму чемодана?

Заметим, что и по сей день в ней имеются мракобесные течения, вроде т. н. «креационистской науки», которая утверждает, что далее 6000 световых лет во Вселенной ничего нет, (ибо раньше 6000 лет ничего нигде не было)*, и вполне серьезно подсчитывает емкость Ноева ковчега — ее де вполне хватает для всех ныне сущих на Земле. Правда, при этом не объясняется — как давно заметил Бертран Рассел — каким это образом не умеющие плавать ленивцы завелись в Южной Америке и только там...

* Отец Тимофей в своей книжке «Природоведение» (М.: Паломник, 1999), одобренной Московской патриархией для школ, утверждает, что есть астрономы, полагающие, что это предельно измеримое расстояние.

Античные рукописи сохранились и потому, что служили для переписки на них церковных текстов, однако первоисточником возрождающегося научного знания — стимулом к чему прежде всего было развитие мореходства — были арабские халифаты в Испании. Почему в мусульманских странах собственная наука не развивалась дальше? Было ли Возрождение закономерным явлением?

Означает ли нынешнее всемирное наступление религиозных фундаменталистов и иррационалистов начало конца цивилизации или же очередной остановки в ее развитии?

В последние годы наблюдаются явные признаки падения интереса к науке во всем мире. Надо ли говорить, что в нашей стране этот процесс принял крайние формы и получил, в сущности, государственную поддержку. На поводу у воинствующих клерикалов идут даже крупнейшие деятели науки и просвещения, ратующие за введение теологии в светские вузы и объясняющие населению, что наука пришла якобы к признанию Высшего разума. Увы, пока мы его не нашли. Обсуждение этих вопросов увело бы нас слишком далеко от темы, но именно к столь общим и важным проблемам подводит нас обсуждение причин молчания Космоса. Это действительно проблема, охватывающая и научное, и гуманитарное знание, если не всю культуру вообще.

Утрата интереса к исследованию нового должна привести не только к невозможности развития новых технологий, которые могли бы спасти наших потомков от вызовов будущего, но, рано или поздно, и к утрате способности поддерживать и воспроизводить уже существующую технологию и медицину, что для нынешней городской цивилизации означает ее неизбежную гибель.

Суждено ли такое развитие каждой цивилизации, после того, как она достигнет примерно нашего уровня? Во всяком случае, наш пример позволяет считать, что, скорее всего, именно утрата интереса к науке может быть причиной гибели цивилизаций.

Горизонт познания

Допустим, однако, что некоторым цивилизациям удастся пройти невредимыми сквозь критическую стадию развития, на которой находится ныне наша Земля. Поскольку возраст многих звезд, в том числе и с нормальным содержанием тяжелых элементов, на миллиарды лет больше возраста Солнца, могут существовать и цивилизации, старше земной на миллиарды лет. Даже одна такая цивилизация давно могла бы освоить всю Галактику, и мы вновь приходим к загадке молчания Космоса. Но способны ли мы понять разум, обогнавший нас хотя бы на тысячу лет? Мы ловим радиосигналы из космоса лишь в течение 45 лет, но уже работают детекторы нейтринного излучения, вступают в строй приемники гравитационных волн. Невозможно вообразить, чем мы будем располагать через сто лет, не то, что через тысячу. А через пять миллиардов?

Таким образом, молчание космоса ставит перед нами вторую принципиальную проблему — пределов земного знания. Если предела нет, возможности более старших цивилизаций нам невозможно вообразить. Они могут управлять движением звезд (как об этом давно уже говорил Н. С. Кардашев), творить новые галактики и даже новые вселенные... Почему бы и нет, если и в рамках современной физики можно уже сказать, какая должна быть энергия столкновения двух элементарных частиц, чтобы результирующая черная дыра начала расширяться в другое пространство как новая вселенная...

Таким сверхмогучим цивилизациям мы не более интересны, чем нам — муравьи; во всяком случае, мы не пытаемся вступить с ними в контакт. Но если ОНИ существуют, тогда можно полагать, что многие и многие явления, которые мы считаем естественными, на самом деле могут быть результатом — или отходами — их деятельности. Как узнать, где находится сейчас постоянно отодвигаемый горизонт познания. Это был главный аргумент С. Лема в его споре с И. С. Шкловским. Вот что он пишет: «Главный принцип наблюдения требовал считать природным явлением все, что не обнаруживало явно

искусственного происхождения. Астрофизика же развилась настолько, что у нее не было недостатка в гипотезах, способных точно «перевести» зафиксированное излучение безотносительно к его отправителям. Возникла парадоксальная ситуация: чем большим набором теорий оперировала астрофизика, тем труднее было бы намеренной сигнализации доказать свою подлинность».

Перевод явно плохой, но смысл ясен. Если бы в 1895 — и даже в 1937 — году мы увидели бы на Луне ядерный взрыв, даже самые лучшие умы человечества не сумели бы объяснить его иначе, чем извержением вулкана или падением астероида.

Уникальная группа дугообразных звездных комплексов наблюдается именно в той области БМО, где находится единственный в этой галактике источник повторяющихся вспышек мягкого гамма-излучения и концентрируются рентгеновские двойные звезды. И. С. Шкловский упоминал о той возможности, что необычные конфигурации, такие как концентрические окружности, могут быть признаками деятельности другого разума. В. А. Лефевр считает возможным, что гигантские звездные дуги могут быть искусственными образованиями, — по какой-то причине их создателям понадобилось инициировать добавочное образование массивных звезд, прогениторов черных дыр, которые хранят гигантский объем информации или даже сами являются носителями разума. Он отмечает наличие глубокой аналогии между характеристиками черных дыр и человеческой психической деятельности, в частности, жесткую разгороженность внутреннего и внешнего миров для обоих феноменов.

Г. М. Идлис и Н. С. Кардашев давно уже отмечали, что деятельность сверхцивилизаций может быть связана с тем, о чем мы можем пока только писать в фантастических романах, например, с уходом в другие пространства, что теоретически возможно в черных дырах. Вместо неограниченной экспансии в нашем пространстве (или, скорее, после этой экспансии — эту стадию ОНИ могли пройти за миллиарды лет до нашего появления на свет). Сверхцивилизация может сосре-

доточиться на изучении микромира, создании черных дыр и других вселенных. Все это звучит, конечно, как запредельная фантастика. Впрочем, по этому пути далеко прошел еще К. Э. Циолковский, который считал возможным, что разум ответственен за все вокруг.

С. Лем говорит — возможно, шутит — о возможности творения законов физики. Проблема существования внеземного разума плавно переходит в область научной фантастики, расплывается и исчезает...

Объективность познания

Однако, если вовремя остановиться, остается предмет для серьезной научной дискуссии. Б. Н. Пановкин в 70-е годы настойчиво говорил о трудностях, которые наверняка возникнут в понимании Послания даже от цивилизации, близкой к нашей по своему развитию, просто в силу того, что «категориальный каркас выделения и формирования материальных объектов познания... определяется системой специфически «человеческого» восприятия действительности». Возможно, что в наше время он высказывался бы более определенно. И это третья глубочайшая проблема, к которой нас подводят размышления о причинах Молчания Космоса.

По сути дела, речь идет о достоверности и однозначности результатов человеческого искания истины. Именно здесь проходит сейчас фронт борьбы с модными течениями философии постмодернизма, утверждающими, что объективной истины не существуют, что результаты науки и псевдонауки суть равноправные «наборы текстов». По-видимому науке снова придется бороться с философской доктриной, которая начинает занимать господствующие позиции в нашей приспособленческой философии и уже достает нас с другого (по отношению к «диамату») бока. О субъективности научного знания говорит целое течение в современном науковедении, «социология науки», которое делает свои выводы, изучая поведение и высказывания ученых, не понимая смысла полученных

ими результатов и их обязательности. Они не осознают неотвратимого действия общечеловеческой практики, как критерия истины, они просто плохо знакомы с физикой, думая, что новое научное достижение отменяет старое знание.

Мы уже говорили, что эволюционная теория познания справедливо заключает, что во Вселенной выживают лишь те, кто адекватно отражает ее законы — а для всей нашей Вселенной они едины по определению. Макс Планк говорил: «...я понял тот далеко не очевидный факт, что законы человеческого мышления совпадают с законами, управляющими последовательностями впечатлений, которые мы получаем от окружающего мира. И поэтому мышление позволяет человеку проникнуть внутрь этого мира. Первостепенную роль при этом играет то, что внешний мир является чем-то не зависящим от человека, чем-то абсолютным...»

Не соглашаясь с Б. Н. Пановкиным и неокантианцами в вопросе об универсальности системы научных понятий для всех субъектов Вселенной, отметим, что он был безусловно прав, говоря о том, что даже в благоприятных условиях для осуществления информационного взаимопонимания необходимо ведение многостадийной «встречной рефлексивной игры». Теорию такой игры разрабатывал в те годы В. А. Лефевр, тогда еще в Москве. Конечно, высока вероятность того, что ОНИ владеют и такими знаниями, для которых у нас нет — пока! — соответствующих понятий. Но ОНИ бесспорно знакомы и с нашими теперешними знаниями — их никто никогда не отменит.

Окно контакта

Во многих случаях приоритет в идеях, объясняющих молчание Космоса, принадлежит С. Лему. Это относится и к следующему рассуждению.

Наша технологическая цивилизация развивается очень быстро. Если это является общим правилом, период времени, в течение которого различные цивилизации находятся на

близкой стадии развития и способны технически и понятийно войти в контакт друг с другом, может быть очень коротким. Со времени изобретения радио прошло лишь сто лет, тридцать лет назад мы научились ловить нейтрино и вот-вот примем гравитационное излучение. Периоды с близкой технологией, длящиеся немногие века, должны совпасть во времени, несмотря на возможность различия возрастов цивилизаций в миллиарды лет! Вероятность этого ничтожно мала, тем более, мала вероятность найти такую цивилизацию достаточно близко от Солнца. Правда, в этом рассуждении предполагается неисчерпаемость научного знания, отсутствие «окончательной теории всего».

Вот что говорит об этой проблеме сам Станислав Лем (в романе «Фиаско»): «Окно контакта» — это космический миг. От лучины до керосиновой лампы прошло 16 000 лет, от лампы до лазера — сто лет. Количество информации, необходимой для шага лучина — лазер, может быть приравнено к информации, необходимой для шага от обнаружения наследственного кода к его внедрению в послеатомную промышленность. Рост знаний в фазе «окна контакта» идет по экспоненте, а в конце ее — по гиперболе. Период контакта — возможности взаимопонимания — в худшем случае длится 1000 земных лет, в лучшем — от 1800 до 2500 лет. Вне окна для всех цивилизаций, недозревших и перезревших, характерно молчание. Первые не располагают достаточной для связи мощностью, вторые либо инкапсулируются, либо создают устройства для сообщений со сверхсветовой скоростью».

Заметим, что межзвездные расстояния столь велики, что, за исключением радиоперехватов разговоров внутри звездного скопления, поиски сигналов ВЦ могут быть успешными, лишь только если ОНИ занимаются альтруистическим распространением политических и научных знаний. Вероятность этого невелика, хотя с сильными аргументами в ее пользу выступает один из пионеров проблемы Ф. Дрейк. Он отмечает, что вероятность выжить больше у той цивилизации, в которой альтруистические настроения победили.

Носители разума

Так или иначе, отсутствие сигналов от ВЦ еще не обязательно означает отсутствие и их самих. Рассмотрим теперь, в каких формах могут существовать носители разума. Это ведь не обязательно целые цивилизации. В провидческой книге «Сумма технологии», изданной еще в 1968 г., С. Лем подробно обсуждает возможность небелковых форм жизни. Хорошо известен и роман замечательного астрофизика Ф. Хойла (скончавшегося 22 августа 2001 г.) «Черное облако», в котором описывается взаимодействие с обитателями Земли разумного плазменно-пылевого облака. Понятно, что для таких носителей интеллекта планеты не нужны, и тогда долгожданное открытие в 1995 г. первой планеты у звезды 51 Пегаса (ныне их известно более 150) не столь уж важно для обсуждаемой здесь проблемы.

Известный физик Ф. Дайсон отметил в 1980 г., что сущность жизни связана с организацией, а не с субстанцией, и что за достаточное количество времени жизнь приспосабливается к любой окружающей среде. Необходим только достаточный запас вещества и энергии. Расход энергии пропорционален квадрату температуры, так что холодная среда более благоприятна для сложных форм жизни. Жизнь зависит еще и от отношения сигнал/шум, и чем холоднее среда, тем ниже фон и экономнее расход энергии.

«Черное облако» Хойла как раз имеет температуру немногим выше абсолютного нуля. Не только молекулы дают сложную структурность, вещество и энергия плюс структурность есть у плазмы — замороженные поля, гидромагнитное динамо на больших протяженностях, или же турбулентность на меньших — все это, как и способность к самоорганизации — свойства плазмы, ионизованного газа.

Конечно, принцип «презумпции естественности» повелевает до последней крайности искать естественное объяснение. Другими словами, на пути редкого случайного сочетания событий и структур можно объяснить практически все. Конечно,

даже и сверхцивилизации, физическими носителями которых являются небιологические структуры, подчиняются физическим законам нашей Вселенной, так что искать искусственное нелегко...

В 1979 г. В. М. Цуриков предположил, что возможным критерием искусственности объекта может быть наличие в его спектре линий, смещенных одновременно и в красную и в синюю сторону. И в том же году такой объект был найден! Это объект SS433, звездный остаток сверхновой, о котором мы уже неоднократно упоминали. В его спектре наблюдаются три системы линий водорода и гелия, две из которых периодически смещаются в красную и в синюю сторону. Это было вскоре объяснено наличием двух узких пучков ионизованного газа, бьющих в разные стороны из полюсов компактного объекта, входящего в тесную двойную систему с голубой массивной звездой. Некоторые удивительные характеристики подобных космических фонтанов, такие как очень малый угол раствора пучка (около 1 градуса в случае SS433) остаются необъясненными и поныне, но, по общему мнению, принцип «презумпции естественности» сработал и на этот раз.

Недавно Н. С. Кардашев снова подчеркнул, что оценки возраста старейших объектов галактического диска (а только в диске имеются звезды с заметным содержанием тяжелых элементов, основой углеродной жизни) в 9 млрд. лет, а некоторых метеоритов в 14 млрд. лет, означают принципиальную возможность существования в нашей Галактике цивилизаций, на 6—8 млрд. лет старше нашей. Н. С. Кардашев по-прежнему уверен в том, что необходимо продолжать усилия по поиску объектов Вселенной, которые могут быть связаны с инженерной деятельностью сверхцивилизаций, во всех диапазонах электромагнитного спектра. Наиболее перспективным является далекое инфракрасное и миллиметровое излучения. Он обращает также внимание на то важнейшее обстоятельство, что 95% вещества Вселенной недоступно пока для изучения и обнаруживается только по его гравитационному воздействию на видимые небесные тела, и считает необходимым учитывать

и возможную многосвязность пространства-времени. ОНИ имели время и возможность ускользнуть от нашего внимания! Н. С. Кардашев заключает, что парадокс Ферми — «это величайшая загадка природы».

Надежда

Есть ли все же надежда в предвидимом будущем обнаружить сигнал, с которым можно начать рефлексивную игру в угадайку? Такой сигнал, как следует из вышеизложенного, можно ожидать от цивилизации, не намного опередившей нашу и имеющей близкую к нам технологию. Надежда поймать ненаправленный, изотропный сигнал слишком мала — мощность такого сигнала должна быть чудовищно велика, несовместима с нашим предположением о близости технологий. Кроме того, как считает В. А. Лефевр, изотропный сигнал быстро теряет информативность, причем это относится и к передаче «сигнала» космическим распространением самих носителей разума. Однако вероятность того, что направленный сигнал случайно попадет прямо к нам, еще меньше. (Правда, какую-то надежду можно возлагать на то, что в диапазоне метровых радиоволн Земля стала ярка лет 60 назад — и тем привлекла к себе внимание — надежда, обыгранная в романе К. Сагана «Контакт».)

Предположим теперь, что пространство вплоть до ближайших звезд мы наверно — если не погибнет наука — сумеем освоить через сотню—другую лет и весьма вероятно, что узконаправленные радиосигналы будут использоваться и тогда для связи с межзвездными кораблями. Значит, и ДРУГИЕ могут вести себя подобным образом. В. Г. Сурдин давно обратил внимание на перспективность для проблемы SETI звездных скоплений. В них расстояния между звездами составляют световые недели, а возраст звезд почти одинаков. Находящиеся близ таких звезд цивилизации могут развиваться синхронно еще и потому, что могут достаточно оперативно обмениваться значимой информацией. Допустим теперь, что мы можем случайно оказаться на продолжении направленного радиолуча,

а мощность сигнала была завышена тамошними инженерами или же рассчитана на возможность приема звездолетами этих цивилизаций далеко за пределами скопления — тогда, направив на такое скопление радиотелескоп, мы можем надеяться подслушать чужой разговор. Особенно если возраст скопления близок к возрасту Солнца.

Скорее всего, другой Разум будет обнаружен в процессе обычных астрономических наблюдений. А они еще в самом начале. Весь спектр электромагнитных излучений стал нам доступен лишь сорок лет назад; возможность приема других сигналов существует только в зародыше. Количество больших телескопов, и радио, и оптических, исчисляется пока единицами.

Глава 12. ГОРИЗОНТЫ ЗНАНИЯ

Но для человека нет отдыха и нет конца...
И когда наконец он покорит все пучины
пространства и все тайны времени, он все
еще будет у начала.

Герберт Уэллс

Итоги XX века

Если подвести итоги астрономии XX века, необходимо согласиться с мнением И.С.Шкловского, высказанным им более 30 лет назад. Этот век был для астрономии тем же, чем эпоха великих географических открытий для географии. Можно воспользоваться архаическим термином и говорить в данном контексте об исчерпанности космографии, описания Вселенной. Она населена гигантскими звездными системами — галактиками, одной из которых является наша система Млечного пути, и она расширяется. Этот вывод, неопровержимо доказанный к 1929 г. наблюдениями на одном единственном достаточно большом для этого телескопе (100-дюймовом рефлекторе на Маунт Вилсон) остается и по сей день важнейшим итогом XX века. Напомним, что еще в 1916 г. Эйнштейн, создавая общую теорию относительности, полагал, что стационарная Вселенная состоит из одних только звезд.

Космография завершена в XX веке, Америку нельзя открыть еще раз. Однако понимание Вселенной никогда не станет исчерпывающе полным. Проблемы начальной стадии ее эволюции и природы ненаблюдаемого вещества далеки от решения, и будучи поставленными астрономией, они являются ныне величайшим вызовом для теоретической физики. Астрономы наблюдают лишь 4% массы Вселенной, но полученных ими данных оказалось достаточно, чтобы доказать

наличие остальных 96%! Не решена проблема сингулярности, сверхплотной начальной стадии расширения Вселенной, как и проблема черных дыр, которые возникают и при гравитационном коллапсе массивных звезд, и в ядрах галактик, где наличие черных дыр почти доказано. Необходимая для продвижения в этом направлении квантовая теория гравитации остается все еще наукой будущего. Многие уповают на теорию струн, в рамках которой возникает объект со спином 2, как это требуется для кванта гравитационного поля. Однако над этими старыми проблемами нависает новая загадка ненаблюдаемой львиной доли содержимого Вселенной.

Вторым по значению достижением астрономии XX века, после открытия галактик и расширения Вселенной, представляется нам построение теории звезд, их строения, источников энергии и эволюции. Совместные усилия наблюдательной астрономии и физической теории привели к результату, который будущие века лишь уточнят в деталях. Превращение звезд главной последовательности в красные гиганты, термоядерные реакции синтеза как источник энергии звезд — эти выводы теории покоятся на незыблемом фундаменте множества взаимосогласующихся наблюдательных и экспериментальных фактов. Объяснение распространенности химических элементов во Вселенной также является важнейшим и бесспорным достижением, полученным на стыке космологии и теории звезд.

Можно, пожалуй, сказать, что концептуальных достижений такого масштаба в XIX веке не было. Однако с этим можно поспорить. Высокоточные определения положения звезд привели к определению параллаксов немногих звезд и массовому определению их собственных движений, — это было развитие старых способов и старых идей. Однако открытия спектрального анализа никто не ожидал — а это позволило начать определения лучевых скоростей звезд и привело к определению их температур и химического состава, что и не снилось Лапласу или Контю. Определение расстояний звезд и изучение их спектров доказало в XIX веке сделанное многие века назад предположение о том, что наше Солнце — одна из звезд.

Превращение астрономии (в 1950—60-х годах) во всеволновую иногда рассматривали как вторую (после Коперника и Галилея) революцию в астрономии. Уже работающие нейтринные телескопы и создающиеся приемники гравитационных волн означают выход и за пределы электромагнитного спектра, и без них не понять природу скрытой массы. Резко раздвинутся в ближайшие годы возможности и оптической астрономии, и не только благодаря тому, что работает уже дюжина телескопов класса 8—10 метров, и проектируются почти фантастические 50 и 100-метровые наземные телескопы и 6-метровый космический телескоп. Уже ведутся обширные программы наблюдений гравитационного линзирования света, которое служит чем-то вроде естественного сверхтелескопа; фантастические перспективы открывают сверхточные астрометрические измерения из космоса. Выход на околосолнечные орбиты позволит резко увеличить разрешающую способность и радиоинтерферометрических методов.

Нельзя не сказать о подлинной революции в оптической астрономии, произошедшей в связи с массовым применением начиная с 80-х годов твердотельных приемников излучения — приборов с зарядовой связью (CCD матриц). Они регистрируют до 90% падающего на них света, причем результат сразу дается в цифровой форме, удобной для обработки. Ныне мозаичные CCD-матрицы сравнимы по размерам с фотопластинками, которые становятся все более редкими и дорогими. Век астрономической фотографии длился чуть дольше века и фактически уже ушел в прошлое.

Особенностью астрономии является невообразимое количество разнообразных объектов, с которыми нам приходится иметь дело. Протон неотличим от другого протона, но у каждой галактики свое лицо. Без развития электронных средств хранения, обработки и передачи информации астрономы были бы теперь беспомощны. Созданная в НАСА *Astrophysics Data System* является не просто бесценным подспорьем, в ряде областей работа без использования этой системы уже невозможна. И особенно это важно для наших астрономов, у

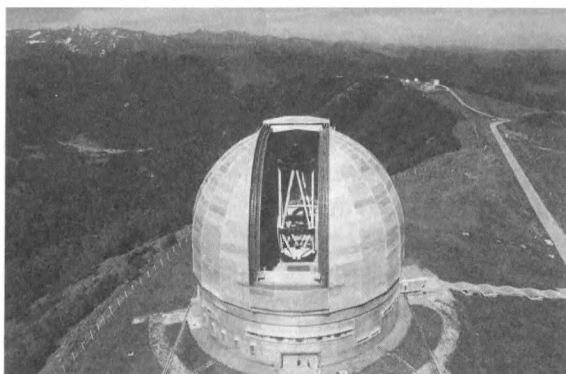


Рис. 12.1. БТА, Большой азимутальный телескоп Специальной астрофизической обсерватории РАН, с диаметром зеркала 6 м. Северо-Западный Кавказ, близ Архыза.

которых только один современный телескоп (6-м телескоп САО РАН, до 1990-х годов бывший наибольшим в мире, — ныне он на 16-м месте, рис. 12.1).

В *World Wide Web* хранятся обширные базы данных, открытые для всеобщего пользования. Особенно важна система электронных препринтов, мгновенно делающая доступной результаты работы, а также поисковая система, позволяющая найти любую статью и данные о любом объекте. Мечта фантастов о всемирной библиотеке воплощена в жизнь.

Выход в космос и превращение астрономии во всеволновую не принесли революционных изменений в собственно астрономическую картину мира. Как отмечал И. С. Шкловский, важнейший результат космонавтики состоял в том, что прямые исследования далеких планет подтвердили результаты дистанционных астрономических наблюдений, укрепив нашу веру в то, что наши телескопы и теории правильно описывают мир — вплоть до четко определенных пределов, таких как начальная сингулярность и черные дыры. Здесь нас действительно ждет неизвестное, но новая космофизика включит в себя наше знание об обычных звездах и галактиках как частный случай. Это и есть, по нашему мнению, признак подлинной науки

— она подчиняется принципу соответствия Н. Бора. С этой точки зрения, революций в науке не бывает, планетная теория Птолемея была элементом пранауки (вспомним слова В. Гейзенберга — умение предсказать явление не означает еще его понимание), а не первым приближением к истине; деятельность Коперника, Галилея и Ньютона ознаменовала не революцию в астрономии, а рождение современной науки.

Величайший ныне в мире 10-метровый телескоп на Гавайских островах носит имя миллионера В. Кека, помогшего Калифорнийскому университету его построить (рис. 12.2). Ныне рядом работает второй такой же телескоп, Кек-2. А поблизости — японский 8-метровый телескоп Субару. Эти телескопы скоро начнут работать совместно, образуя гигантский оптический интерферометр. Имена людей, помогших

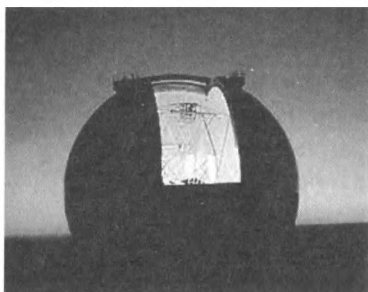


Рис. 12.2. Телескоп им. Кека с зеркалом 10 м, вершина Маунт Кеа, Гавайи, США.

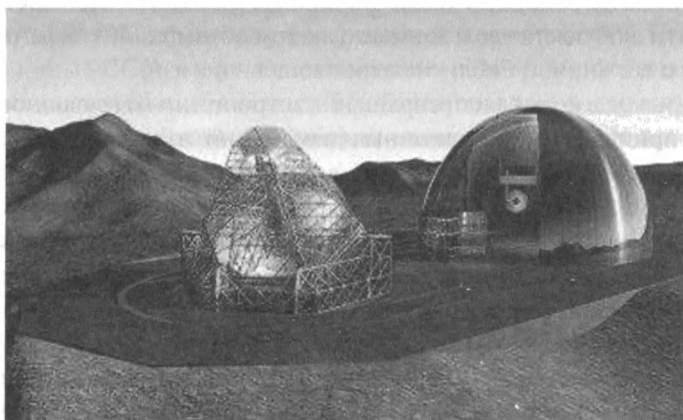


Рис. 12.3. Проект OWL, Ошеломляюще большого телескопа с зеркалом в 100 м.

созданию больших телескопов, будут жить, пока жива наука. Решение многих и многих задач лимитируется недостатком наблюдательного времени — слишком много объектов ждут, когда в темноте земной ночи к ним повернется зеркало телескопа.

Недавние достижения астрофизики и космологии, описанные в этой книге, говорят о том, что мы на пороге событий, сравнимых с появлением теории относительности и физики элементарных частиц. Ныне в Европейском Союзе разрабатывается проект 100-м оптического телескопа с адаптивной оптикой. Первые 8 миллионов евро уже выделены и лет через 10–15 телескоп войдет в строй. Его разрешающая способность будет в 40 раз выше, чем у Космического телескопа им. Хаббла. Сколько тайн откроет нам Вселенная! А сколько появится новых... Постигание создавшего его Мироздания — величайшая задача и величайшее счастье для Человека.

Пределы знания

«Если вы беспрестанно будете спрашивать почему, в итоге вы придете к фундаментальному вопросу либо из физики частиц, либо из космологии: наук об очень большом и очень малом. Это важная характеристика нашей Вселенной. Мы ищем объединенные теории космоса и микрофизики не потому, что остальная наука (или даже остальная физика) зависит от них, но потому, что они связаны с таинственными аспектами реальности» — говорит английский космолог М. Рис.

Но где же пределы человеческого знания? Да, мы лишь смотрим в окно, но то, что мы видим — уже приближение к истине и мы прорубаем все новые окна. Наука не отдает завоеванных территорий; хотя в каждый данный момент наше познание ограничено, горизонт отступает с каждым нашим шагом, и освоенная территория — наша. Это бесспорно, и единственная нетривиальная проблема, заслуживающая обсуждения, состоит в том, бесконечен ли этот процесс, приближается ли познание к полной истине асимптотически, или

настанет момент, когда все законы физического мира станут известны и останется лишь задача объяснения с их помощью бесконечного разнообразия наблюдаемых явлений.

Имеются разные точки зрения на эту труднейшую проблему. Первая из них — создание единой «теории всего» не за горами. К этому стремился Эйнштейн, о перспективах успеха говорит созданная — уже на глазах нашего поколения — единая теория электрослабых взаимодействий. Почти все уверены, что мы близки к построению «великого объединения», включающего и силы внутриядерного взаимодействия, и видны перспективы включения в единую теорию и гравитации. Многие крупнейшие физики надеются на возможность построения исчерпывающе полной теории, например С. Вайнберг, который обсуждает проблему в своей глубокой и интереснейшей книге «Мечты об окончательной теории» (Москва, УРСС, 2004). Он пишет: «Очень трудно воспринимать последовательность все более и более фундаментальных теорий, становящихся все проще и всеохватнее, и не верить, что цепочка объяснений где-то сойдется».

Действительно, мы как-будто уже знаем все типы физических взаимодействий. Казалось, что кварки и глюоны вряд ли удастся разбить на что-то еще, однако теория струн, как многие думают, открывает последнюю реальность (см. Брайан Грин, «Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории». Москва, УРСС, 2004). Объединение гравитации с остальными взаимодействиями наталкивается на глубокое противоречие квантовой механики (принципа неопределенности) и общей теории относительности. Совместное их использование дает бесконечности — при уменьшении масштаба возрастают квантово-механические флуктуации гравитационного поля, которые соответствуют сильному искривлению пространства; возникает то, что называют «квантовой пеной».

Стандартная модель микромира включает 19 чисел, описывающих массы частиц, константы взаимодействий и их интенсивность, и 4 взаимодействия — но не включает гравитацию;

неясно, откуда взялись эти именно 19 чисел и их значения. Однако теория суперструн, зачатки которой появились еще в 1968 г., описывает все элементарные частицы и все взаимодействия, включая гравитацию. Струны — истинные атомы, неопределяемые далее сущности (из чего состоит буква?) но есть вероятность, что и они не последняя структура. Это одномерные образования, различные моды резонансных колебаний которых порождают различные массы элементарных частиц и константы их взаимодействий. Масса частицы определяется энергией колебаний — их амплитудой и натяжением струн. Еще в 1974 г. было найдено, что одна из мод колебаний струн соответствует безмассовой частице, имеющей спин 2 — это и есть гипотетический гравитон. Через десять лет было показано, что улучшенная теория струн достаточно широка, чтобы охватить все четыре взаимодействия и все виды материи. С тех пор эта теория получила широкое признание — но лишь среди теоретиков, некоторые из которых заявляют, что теория, предсказывающая гравитон — величайшее теоретическое достижение в истории. Однако способов ее проверки все еще не видно, за исключением гипотетической возможности, что струны, образовавшиеся в Большом взрыве, могли затем вырасти до макроскопических размеров и проявиться в астрономических наблюдениях как двойные изображения одних и тех же объектов.

Теория струн претендует ныне на роль «Единой Теории Всего», но существует точка зрения, что продвижение вперед безгранично в принципе, предела нет даже и в бесконечности. Неизбежность такого развития аргументирует Г. М. Идлис (В сб.: «Проблема поисков внеземных цивилизаций», М.: Наука, 1981, с. 210). Он отмечает, что цивилизации, которые перестают развиваться, по существу, перестают заслуживать это название; это следует уже из того, что необходимость экспоненциального развития науки заложена в ней самой. Этот вывод следует из теоремы Геделя, согласно которой в рамках любой достаточно содержательной теории всегда можно сформулировать утверждение, которое нельзя ни доказать, ни

опровергнуть в пределах аксиоматики, на которой основана эта теория, так что при ее обобщении приходится иметь дело с двумя альтернативными возможностями. Решение действительно важной проблемы обязательно порождает несколько новых нерешенных проблем, и с многочисленными случаями такого рода мы встречались в этой книге. Впрочем, ситуацию образно сформулировал еще Бернард Шоу: «Наука всегда оказывается неправа. Она никогда не решает вопроса, не поставив при этом десятка новых».

Развитие науки и цивилизации требует систематического роста материальных и энергетических ресурсов, и даже выход за пределы Солнечной системы сравнительно ненадолго спасает положение. Стабилизация потребляемой энергии даже на уровне всегалактической должна быть неприемлемой для цивилизации, и Г. М. Идлис предполагает, что она должна найти способ перейти к космологической экспансии — «внутри» элементарных частиц, в другие вселенные... Тогда и на нашей Земле, — говорит Г. М. Идлис, — жизнь, возможно, «возникла не случайно, а в результате разумной деятельности (или информационного проникновения) некоторой неизмеримо более развитой сверхцивилизации». Этим может объясняться и поразительная универсальность генетического кода, побудившая Ф. Крика и Ф. Хойла возродить идею панспермии.

Тут надо заметить, что такое беспредельное развитие заведомо связано с принятием концепции множественных вселенных. Некоторые космологи чувствуют к ней органическую неприязнь, ибо перспективы ее проверки кажутся списанными из научной фантастики. Ну что ж, вспомним еще раз, что Фред Хойл был среди ее авторов — а не только великим астрофизиком.

Если дело обстоит таким образом, развитие науки можно уподобить построению беспредельной мозаичной картины. Новое знание должно составлять целостную картину со старым, новые кусочки мозаики по определению должны быть согласованы со старыми, а когда их накапливается достаточ-

но для того, чтобы увидеть новую цельную картину (лучше сказать — цельный фрагмент бесконечной картины), иногда оказывается, что нужно подкорректировать элемент внутри уже существовавшей картины. Истина есть процесс. Говорят и о восхождении на вершину, с которой открываются все новые и новые пики, и об увеличении площади соприкосновения с неизвестным по мере расширения сферы знания.

Человек и Вселенная

Научная революция начала XX века, связанная с появлением теории относительности и квантовой механики, означала собственно переворот не в науке, а в психологии исследователей, и была в сущности новым торжеством человеческого разума.

Оказалось, что мы способны оперировать с объектами и явлениями, для которых у нас нет ни модельных представлений, ни соответствующих понятий и которые мы, во всяком случае, не способны наглядно представить. Теории, развиваемые первоначально как математические формулировки, тем не менее составили взаимосогласованную и подтвержденную многочисленными экспериментами и наблюдениями картину; замечательно при этом, что были использованы математические построения (вроде матричного исчисления) созданные сто лет назад и казавшиеся абсолютно абстрактными. Это повторилось и при создании теории струн, использовавшей работы Леонарда Эйлера двухсотлетней давности.

«Непостижимая эффективность математики в естественных науках», о которой писал Е. Вигнер, не только ему представляется загадочной и даже не имеющей рационального объяснения. Эта эффективность доказана бесчисленными примерами. Действительно поразительны случаи, когда разработанная многие десятилетия назад абстрактная математическая теория оказывается адекватно описывающей только что обнаруженные физические явления, что опять-таки удостоверяется коллективной практикой человечества.

Выход из положения может быть в признании того, в чем так были уверены М. Планк, Ж. Леметр, Б. Спиноза... — наша Вселенная действительно достаточно проста для нас, и наш мыслительный аппарат соразмерен нашей Вселенной по самой природе вещей. Напомним и о главном тезисе эволюционной теории познания — наше выживание (и значит, рождение науки, адекватно отражающей устройство мироздания) было возможно только потому, что наши познавательные структуры сформировались в ходе эволюционного приспособления к нашему миру.

Эта же мысль звучит в романе великого астрофизика Ф. Хойла «Черное облако»: «мы склонны к некоторому зазнайству, когда говорим, что Вселенная построена логично. Но это все равно, что запрягать телегу впереди лошади. Не Вселенная построена логично с нашей точки зрения; это мы и наша логика развились в соответствии с логикой Вселенной. Таким образом, можно сказать, что разумная жизнь есть нечто, отражающее суть творения Вселенной... Мы построены по принципам, которые вытекают из общего устройства Вселенной».

Концепция множественности вселенных с невообразимо отличающимися от наших законами физики в каждой из них, на наш взгляд, может разрешить противоречие. Весь Мир в целом достаточно сложен, но из этого не следует бесконечная сложность одной из его бесчисленных вселенных — нашей Вселенной, обитатели которой устроены в соответствии с ее законами, случайно возникшими на стадии начального расширения.

А может быть и не случайно. Может существовать и эволюционная последовательность вселенных, подобных нашей. Теоретически уже известно, как создавать черные дыры в лаборатории, и они могут быть зародышами новых вселенных. Американский космолог Э. Харрисон говорит о крошечной (с массой порядка 10 кг) черной дыре, которая должна возникнуть при столкновениях частиц с энергиями порядка 10^{15} Гэв, т.е. 10^{24} электрон-вольт. Такие и много большие энергии наблюдаются в космических джетах, но энергия каждого из

двух протонных пучков, которые должны были сталкиваться в суперколлайдере (строительство которого было прекращено в США решением Конгресса в 1993 г. — после того, как один миллиард долларов из требовавшихся девяти был уже зарыт в землю) должна была составить 20 триллионов электрон-вольт — т.е. $2 \cdot 10^{13}$ электрон-вольт. Иными словами, ускоритель, необходимый для создания черной дыры, потребует в 10^{11} , в сто миллиардов раз больше энергии.

Для земной цивилизации такие энергии на тысячи или миллионы лет останутся за пределом возможного — но ведь возможно существование цивилизаций, которые старше нас на миллиарды лет... И если такая черная дыра будет создана, ее внутренняя область начнет немедленно расширяться в другое пространство, образуя новую вселенную, которая затем теряет связь с нашей, поскольку исходная черная дыра испаряется. Новая вселенная, зачатая в нашей Вселенной, должна сохранить ее физические законы и когда-нибудь в ней также появятся разумные обитатели, способные к созданию новых вселенных...

Космологи говорят, что проблема не только деизма (бога, тождественного Природе), но и теизма (внеприродного Бога-творца) становится проблемой астрофизики...

«Важное обстоятельство, — замечает Харрисон, — состоит в том, что если существа с нашим ограниченным интеллектом могут предаваться мечтам о дерзких, но по-видимому правдоподобных схемах изготовления вселенных, то существа с намного более высоким интеллектом могли бы знать и теоретически и технически, как именно это сделать.» То, что мы сегодня считаем принципиально возможным, наши потомки научатся претворять в действительность. Во всяком случае, это много раз подтверждалось в человеческой истории.

Разумная жизнь в исходной вселенной создает новые вселенные и Харрисон полагает, что физические условия в сотворенной новой вселенной будут такими же, как и в исходной и пригодными для появления жизни такого же типа, что и исходная. И этот процесс продолжается вечно. Вселенные,

наиболее благоприятные для разумной жизни отбираются как способные к репродукции... Эта гипотеза объясняет и постижимость нашей Вселенной для нас. Она создана существами, чьи мыслительные процессы и понятия принципиально подобны нашим, поскольку мы, в некотором смысле, их далекие потомки. И, возможно, предки следующих поколений повелителей вселенных...

Вопроса же о происхождении исходной вселенной в рамках современной космологии не существует. Вселенные с почти бесконечным разнообразием физических условий в них спонтанно возникают как флуктуации вечного и самоподобного первичного вакуума.

Итак, возможно, что и мы научимся когда-нибудь творить вселенные, возможно, что мы и впрямь сумеем взять в свои руки штурвал эволюции Мира. Разве причастность к предельно глубоким проблемам человеческого бытия и мироздания не наполняет жизнь высшим смыслом? Наука занимается этими проблемами не на уровне умозрительных рассуждений, как в теологии или философии, а в процессе реальной работы, приводящей к возможности экстраполяции теорий, многократно проверенных в физических опытах и астрономических наблюдениях. Как смешны и убоги высказывания о том, что наука чужда «духовности», чужда высшим потребностям человеческой души...

Слово о пользе науки

Однако наука еще и практически полезна...

Каждый, кто бывал в Риме и его окрестностях, помнит вереницы ритмичных арок акведуков, шагающих к вечному городу от горных источников Лациума, за многие десятки километров. Водопровод, сработанный еще рабами Рима, питает еще и сейчас некоторые городские фонтаны. Между тем трубы можно было бы сделать герметическими и проложить по земле. Тогда достаточно одного только превышения высоты источника над уровнем фонтана. Древние не знали

закона сообщающихся сосудов... На исследованиях Паскаля, заложившего в XVII веке основы гидравлики, давным-давно основана работа водопроводов...

Более двух тысяч лет электричество было известно человечеству, но казалось лишь забавной игрушкой. Только в 1820 г. Эрстед и Ампер обнаружили воздействие электрического тока на магнитную стрелку и уже в следующем году в руках Фарадея заработал прообраз первого электромотора. К 1873 г., раньше чем в городах пошли первые трамваи, Максвелл, основываясь на опытах Фарадея и его идее силовых линий поля, создал теорию электромагнитного поля, объединившую электричество и магнетизм. Более того, он пришел к выводу, что «...свет состоит из поперечных колебаний той же самой среды, которая вызывает электрические и магнитные явления». Успех науки такого же ранга пришел лишь сто лет спустя, с объединением электромагнитных и слабых взаимодействий. Практической пользы от этой теории пока нет...

Уравнения Максвелла казались очень трудными для понимания и никому не нужными — но недолго. В 1888 г. Герц сообщил о своих опытах по созданию «электрических лучей». Оказалось, что существуют и распространяются в пространстве со скоростью света электромагнитные колебания и с большей длиной волны, чем видимые глазом, как это и следовало из уравнений Максвелла. И 7 мая 1895 г. Попов передал по созданному им беспроволочному телеграфу на расстояние в 200 м слова «Генрих Герц». Вскоре появилось новое слово — радио.

В 1897 г. Томсон (лорд Кельвин) открыл электроны, в 1900 г. Планк догадался, что существуют наименьшая неделимая далее порция энергии — квант действия, а в 1905 г. Эйнштейн показал, что и свет распространяется отдельными квантами — фотонами. Дуализм волновой и квантовой природы электромагнитных излучений был разрешен к 1927 г. созданием квантовой механики. Ее уравнения тоже долго казались ненужной абстракцией; они и поныне составляют проблему для понимания — но они работают, давно уже работают в

каждой квартире! И не только в квартире. Теория индуцированного излучения возбужденного атома, созданная еще в 30-х годах, на основе новых знаний об элементарных частицах и строении атома, позволила Басову, Прохорову и Таунсу создать к 1960 г. приборы, усиливающие микроволновое (мазеры), а затем и световое излучение (лазеры). Теория мазеров, между прочим, сразу же позволила и объяснить некоторые загадочные источники космического радиоизлучения. Через несколько лет появилось лазерное оружие.

Теория относительности, созданная великим Эйнштейном, работает не только на просторах Вселенной. Она используется при расчетах движения элементарных частиц в ускорителях, релятивистские поправки вводятся в уравнения небесной механики, чтобы обеспечить попадание космического аппарата в далекую планету.

Электричество, радио, телевизоры и лазерные устройства появились первоначально как абстрактные уравнения, но были претворены в предметы потребления 30—50 лет спустя. Опыты Фарадея казались некоторым напрасной тратой времени и денег. На вопрос властей, зачем нужно это электричество, мудрый ученый ответил — когда-нибудь вы будете брать с него налоги. И не ошибся...

Изучение звезд, элементарных частиц и ядер атомов дало не только атомную бомбу, но и в перспективе почти неисчерпаемые источники энергии. Всего лишь через три месяца после открытия немецкими учеными в конце 1938 г. делимости ядер урана встал вопрос об освобождении их энергии. Как говорил позднее Вернер Гейзенберг, летом 1939 г. двенадцать человек могли, договорившись друг с другом, предотвратить появление атомной бомбы. Этого не случилось, и никому не нужные занятия горстки чудаков внезапно превратились в вопрос жизни и смерти государств.

Наша наука оказалась на высоте, хотя сейчас часто говорят, что бомбой мы обязаны шпионам, а не физикам. Однако о том, что идут над ней работы, наши физики догадались сами, просто по исчезновению дальнейших публикаций о делении

ядер урана. Первую бомбу ядерного деления мы сделали по американским чертежам, но лишь для того, чтобы ускорить работу. Что же касается бомбы ядерного синтеза, то американцы первыми взорвали лишь стационарное устройство величинной с хороший дом, первая же транспортабельная водородная бомба была взорвана нами. Она оказалась достаточно легкой потому, что использование изотопа лития, предложенное В. Л. Гинзбургом позволило обойтись без огромных охлаждающих устройств. Затем появились идеи Сахарова и Зельдовича (оба они ушли затем в космологию, физика примерно та же!), которые позволили почти неограниченно увеличивать мощность бомб. Сахаров был уверен, что именно это спасло в свое время мир на планете. Термоядерными реакциями синтеза, превращения водорода в гелий, (обеспечивающими свечение звезд) физика скоро научится управлять и превратит их в практически неиссякаемый источник энергии на Земле. Неслыханное могущество обретет страна, ученые которой сумеют овладеть гравитацией или энергией аннигиляции материи. И там, где науке дают развиваться, это рано или поздно случится.

* * *

В истории человечества было сказано много хороших слов о том, какие цели надлежит ему ставить перед собой. Говорилось о праве человека на жизнь, свободу и стремление к счастью, и о свободном развитии всех, и о необходимости увеличивать власть человека над природой и уменьшать власть человека над человеком.

У истории нет цели, но человечество вправе ее перед собой поставить. И это, прежде всего, — создание условий для максимально полного раскрытия творческого потенциала человеческой личности, и для возможности свободно отдаться исследованию Мироздания. Как знать, может быть в нашей Вселенной нет больше никого, кто мог бы понять ее...

СЛОВАРЬ

АБЕРРАЦИЯ — изменение положения звезд на небесной сфере, пропорциональное отношению скорости Земли к скорости света. Для движения Земли вокруг Солнца смещение составляет 20,5 секунд дуги, для вращения Земли — 0,3 секунды.

АЛЬМАГЕСТ — «Математическое сочинение в 13 книгах», известное в древности как «Мэгисте» (великое сочинение), общепринятое арабизированное название древнейшего компендиума астрономических знаний, который составил греческий астроном Клавдий Птолемей в Александрии около 140 г. н.э.

БАЛДЖ — сферическое сгущение старых звезд малой массы вблизи ядра Галактики. Звезды балджа имеют возраст, близкий к возрасту Вселенной.

БЕЛЫЙ КАРЛИК — горячая звезда с очень высокой плотностью (размер порядка размера Земли, а масса порядка массы Солнца).

БЛЕСК ЗВЕЗДЫ — мера освещенности, создаваемая звездой на перпендикулярной к ее лучам поверхности, измеряется в звездных величинах.

БОЛЬШОЙ ВЗРЫВ — элемент космологической теории расширяющейся Вселенной. Считается, что порядка 15 миллиардов лет назад во Вселенной произошел Большой взрыв, а все, что мы сейчас наблюдаем, есть осколки этого взрыва.

ВИДИМАЯ ВЕЛИЧИНА ЗВЕЗДЫ — мера блеска звезды, отражающая логарифмическую зависимость между объективным блеском звезды и его субъективным восприятием. По определению, интервал в 5 звездных величин соответствует отношению световых потоков равному 100, следовательно, в 1 величину — 2,512.

ВОЙД — область пространства с пониженной плотностью галактик.

ГАЛАКТИКА — объединение звезд, связанных между собой силой

гравитации. Основной структурный элемент Вселенной. Наша Галактика — Млечный путь — содержит около 100 миллиардов звезд. В отличие от других галактик название нашей Галактики пишется с прописной буквы.

ГЛАВНАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ — на диаграмме Герцшпрунга—Рессела, сопоставляющей светимости и температуры звезд, полоса, протягивающаяся от наиболее ярких и горячих звезд до наиболее слабых и холодных. Она населена наиболее густо, потому что соответствует наиболее длительной стадии звездной эволюции.

ГРАВИТАЦИОННЫЙ РАДИУС — значение радиуса тела с заданной массой, при котором вторая космическая скорость равна скорости света. Если тело сжимается до гравитационного радиуса, оно становится черной дырой.

ДВОЙНАЯ СИСТЕМА — система из двух звезд, связанных взаимным тяготением: каждая из них обращается вокруг центра масс системы.

ДЖЕТ — струя, очень узкий поток заряженных частиц, с очень большой (часто субрелятивистской) скоростью истекающий из полюсов аккреционного диска, которым обладают объекты самых разных классов и масштабов — от звезд в процессе образования до сверхмассивных черных дыр в ядрах галактик.

ДОПЛЕРА ЭФФЕКТ — изменение частоты колебаний или длины волны, воспринимаемой наблюдателем, при движении источника колебаний и наблюдателя относительно друг друга.

ЗВЕЗДЫ ВОЛЬФА—РАЙЕ — очень горячие массивные звезды высокой светимости, с широкими линиями ионизованного водорода, гелия и других элементов, что объясняется наличием горячего ядра и протяженной расширяющейся оболочки.

ЗВЕЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА — мера видимого блеска звезд; абсолютная звездная величина — мера ее светимости.

КВАЗАРЫ — мощные внегалактические источники электромагнитного излучения, представляют собой очень активные ядра далеких галактик.

КРАСНОЕ СМЕЩЕНИЕ — увеличение длин волн линий в спектре источника по сравнению с линиями эталонных спектров.

НЕЙТРОННАЯ ЗВЕЗДА — небольшая по размеру (порядка десятка километров) сверхплотная (около 100 млн. т/см³), состоящая в основном из нейтронов вращающаяся звезда.

НОВАЯ ЗВЕЗДА — явление быстрого увеличения блеска (на 10 величин и более) в тесной двойной системе, включающей белый карлик. Когда масса этого вещества достигает критического значения, происходит термоядерный взрыв, срывающий оболочку белого карлика, после чего блеск звезды за несколько недель возвращается к исходному значению.

НУЛЬ-ПУНКТ — величина, фиксирующая значение функции при заданном аргументе. Например, при известном наклоне зависимости период—светимость для цефеид ее нуль-пунктом может быть значение светимости для какого-либо значения периода.

ПАРАЛЛАКС — угол, на который перемещается объект на небесной сфере при наблюдении его из разных точек пространства.

ПАРСЕК — единица длины, применяемая в астрономии. Радиус земной орбиты с расстояния в один парсек виден под углом 1 секунда. 1 парсек (пк) = 206265 а. е. = $3,0857 \times 10^{16}$ м.

ПЕРЕМЕННАЯ ЗВЕЗДА — звезда, блеск которой испытывает колебания с характерным временем от минут до сотен лет.

ПЕКУЛЯРНАЯ ГАЛАКТИКА — галактика, обладающая какими-либо особенностями и не укладывающаяся в классификацию.

ПРЕЦЕССИЯ (предварение равноденствий) — перемещение точки весеннего равноденствия по эклиптике навстречу годичному движению Солнца. Объясняется влиянием притяжения Луны и Солнца на сплюснутый земной сфероид, в результате чего земная ось описывает в пространстве конус с полу-углом раствора в 23,5 градуса, а полюс мира описывает окружность такого же радиуса вокруг полюса эклиптики с периодом в 25770 лет.

ПРОГЕНИТОРЫ — объекты, имеющие возможность породить какие-либо другие объекты или явления. Например, прогениторами всплесков гамма-излучения являются весьма массивные звезды, вспыхивающие как сверхновые, или же двойные системы из нейтронных звезд или черных дыр.

ПУЛЬСАР — переменный строго периодический источник импульсного космического электромагнитного излучения.

РЕЛИКТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ — равномерно распределенное во Вселенной электромагнитное излучение, сохранившееся до наших дней со времени ее образования. Спектральный максимум реликтового излучения соответствует температуре 3 К и длине волны 1,5 мм.

РЕФРАКЦИЯ атмосферная — преломление света земной атмосферой. В результате видимая высота светила над горизонтом преувеличивается; рефракция на горизонте составляет 35 минут дуги.

СВЕРХНОВАЯ звезда — явление взрывного возрастания блеска и сбрасывания оболочки. У массивной звезды при ее гравитационном коллапсе и в системе двух белых карликов — при их слиянии. В максимуме блеска сверхновая светит как миллиарды звезд. В результате вспышки возникает черная дыра или нейтронная звезда.

СВЕТИМОСТЬ — полная энергия, излучаемая звездой в единицу времени, измеряется в долях светимости Солнца или в абсолютных звездных величинах.

СЕЙФЕРТОВСКИЕ галактики — галактики с яркими компактными ядрами, обладающими широкими эмиссионными линиями; в целом похожи на слабые квазары.

СИНХРОТРОННОЕ излучение — непрерывное электромагнитное излучение, наблюдающееся и в радио и в оптическом диапазоне, возникающее при движении заряженных частиц (в космосе — преимущественно электронов) в магнитном поле.

ТРЕПИДАЦИЯ — несуществующее долгопериодическое изменение скорости прецессии, придуманное арабскими астрономами для согласования полученной ими близкой к истинной величины прецессии с заниженным у Птолемея ее значением.

ЦЕФЕИДЫ — звезды-сверхгиганты спектральных классов F и G, строго периодически изменяющие свой блеск вследствие пульсации внешних слоев.

ЭКЛИПТИКА — большой круг небесной сферы, по которому совершается годичное видимое движение Солнца, т.е. проекция на небосвод плоскости земной орбиты. Наклонён к небесному экватору (проекции земного экватора) на угол в 23,5 градуса.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ВВЕДЕНИЕ.....	8
Предвидимое будущее?	8
Польза астрономии	10
Физика и астрономия	11
Глава 1. ЗВЕЗДНОЕ НЕБО	15
Августовская ночь	15
Имена звезд	17
Звездный каталог «Альмагеста»	21
Звездные каталоги	25
Древняя астрономия и хронология	28
История созвездий	33
Глава 2. МИР ЗВЕЗД.....	37
Что такое звезда.....	37
Расстояние до Солнца.....	38
Годичный параллакс.....	40
Светимости и спектральные классы звезд	44
Источники энергии звезд	49
*) Дополнение 1	53
**) Дополнение 2	54
Глава 3. ЗВЕЗДНЫЕ ГРУППИРОВКИ	55
Звездные скопления.....	55
Эволюция звезд	58
Звездные ассоциации	63
Звездные комплексы	67
Сверхскопления и сверхассоциации	71

Глава 4. САМЫЕ ВАЖНЫЕ ЗВЕЗДЫ	77
Светимости цефеид	78
Эволюция цефеид	84
Сверхновые	89
Гамма-всплески	96
Глава 5. ОТКРЫТИЕ ГАЛАКТИКИ —	
ОТКРЫТИЕ ВСЕЛЕННОЙ	99
Вселенная Каптейна и Млечный Путь Шепли	99
Великий спор-1	102
Островные вселенные или единый звездный агрегат?	103
Великий спор-2	108
Спор решают большие телескопы	111
Глава 6. НАША ГАЛАКТИКА — МЛЕЧНЫЙ ПУТЬ	118
Вращение Галактики	120
Спиральная структура	124
Спиральные рукава Галактики	126
Линия 21 см и около	129
План Галактики	133
Ядро Галактики	139
Глава 7. БЛИЖНИЕ ГАЛАКТИКИ	143
Местная группа	143
Магеллановы Облака	144
Звездные скопления Большого Облака	146
Сверхассоциация 30 Золотой Рыбы	150
Загадка звездных дуг	152
Туманность Андромеды	160
Звездные населения	163
Глава 8. ЭВОЛЮЦИЯ ГАЛАКТИК	169
Эллиптические галактики	169
Джеты из ядер галактик	174
История квазаров	178
Квазары — активные ядра галактик	183
Скопления галактик	186
Темная материя	187
Рождение галактик	191

Глава 9. РАСШИРЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ	195
Красное смещение	195
Закон Хаббла	198
Постоянная Хаббла	201
К краю Вселенной	207
Глава 10. НОВАЯ КОСМОЛОГИЯ	210
Космологическая проблема	210
Реликтовое излучение	213
Ускорение расширения	214
Сказка или быль?	218
Доля барионов	219
Темная энергия вакуума	221
Триумф астрофизики	223
Другие вселенные?	227
Глава 11. МЫ НЕ ОДНИ?	231
История поисков ВЦ	231
Гибель цивилизации?	234
Горизонт познания	239
Объективность познания	241
Окно контакта	242
Носители разума	244
Надежда	246
Глава 12. ГОРИЗОНТЫ ЗНАНИЯ	248
Итоги XX века	248
Пределы знания	253
Человек и Вселенная	257
Слово о пользе науки	260
СЛОВАРЬ	264

ООО «Век 2», тел. (095) 785-56-39, доб. *15-14;

, E-mail: vek-2@mail.ru, www.vek2.nm.ru

Высылаем книги наложенным платежом. Заявки по адресу:

141195, Фрязино-5, Московской обл., а/я 107, ООО «Век 2»

или по E-mail: vek-2@mail.ru

серия «Наука для всех»

Геном, клонирование, происхождение человека.

Под редакцией Л. И. Корочкина.

Что такое геном человека, чем отличается клонирование от копирования, как гены определяют развитие организма и социальное поведение человека, что такое генная инженерия.

А. М. Черепашук, А. Д. Чернин. Вселенная, жизнь, черные дыры.

Изложено современное представление о возникновении и развитии Вселенной; о поисках жизни вне Земли и результатах этих поисков; о самых последних открытиях в астрофизике — антигравитации, «темной материи» и «темной энергии».

Е. Л. Фейнберг. Две культуры. Интуиция и логика в искусстве и науке.

Зачем искусство нужно человеку. Каковы «взаимоотношения науки и искусства. Где кончается логика и начинается интуиция.

В. Г. Ротштейн. Психиатрия. Наука или искусство?

Как психиатры ставят диагноз и насколько он достоверен. Впервые в доступной форме изложены основные понятия традиционно закрытой области — психиатрии.

Б. М. Владимирский и др. Космическая погода и наша жизнь.

Научно-популярная монография о влиянии солнечной активности на широкий круг биологических явлений. Много внимания уделено воздействию солн. активн. на человека, его психику и поведение.

М. Л. Бутовская. Тайны пола. Мужчина и женщина в зеркале эволюции.

Эволюция полового поведения человека. Теория полового отбора, различия мужского и женского тела и стратегии сексуального поведения. Гермафродитизм и гомосексуализм.

Л. Б. Вишняцкий.

История одной случайности или происхождение человека.

Сколь бы естественным и само собой разумеющимся ни казался нам тот факт, что именно человек и его предки стали носителями высших форм сознания и культуры, ничто не дает оснований думать, что такой ход событий был единственно возможным.

А. И. Козлов. Пища людей.

В книге с точки зрения врача и антрополога рассмотрены причины возникновения различий в питании у представителей различных групп населения планеты. В основу книги положены курсы лекций по экологии и антропологии питания, читаемых автором студентам и аспирантам ряда университетов России и Италии.

Научно-популярное издание

Ефремов Юрий Николаевич

Звездные острова

Подп. в печ. 25.06.2005. Формат 84×108/32.
Усл. п. л. 14,28. Тираж 2500 экз. Заказ № 7952.

ООО «Век 2», 141195, г. Фрязино-5, Моск. обл., а/я 107.
Тел. (095) 785-56-39, доб. *15-14, E-mail: vek-2@mail.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.