

Оглавление

ГЛАВА 1

Города вдали 7

ГЛАВА 2

Шаг за пределы Галактики..... 35

ГЛАВА 3

Увидеть больше 123

ГЛАВА 4

Эволюция галактик 181

ГЛАВА 5

Модели мира 233

Шкала расстояний..... 262

Глоссарий 264

Библиография 270

Благодарности..... 271



Сверкающая лента Млечного Пути сияет над плато Чахнантор в чилийской пустыне Атакама, ставшей домом для комплекса радиотелескопов «Атакамская большая [антенная] решетка миллиметрового диапазона». Наш мир — часть огромного скопления звезд, нашего космического дома. Его можно увидеть на снимке с длинной выдержкой, которая дает превосходное изображение центра Галактики, плотно населенного звездами. Темные пятна вдоль светлой полосы выдают присутствие межзвездной пыли: она блокирует свет звезд, находящихся за ней

Города вдали

Представьте, что вы стоите на высоком холме на окраине большого города. Вокруг вас разбросаны отдельные дома, местами объединяющиеся в тихие деревушки. Глядя на город, расстилающийся впереди, вы видите огромный сверкающий лабиринт улиц, парков и высотных зданий — плотная агломерация расплзается во все стороны, а в ее центре — скопление сверкающих небоскребов. Но самое поразительное в этом мегаполисе — его безмолвие: на улицах ни души, не слышно полицейских сирен и даже неразличимого городского гула. Кажется, будто город охвачен цепенящим сном. И все же он лежит почти у ваших ног и терпеливо ждет, когда его исследуют. Но прямо сейчас вы одни в далеком пригороде и можете лишь наблюдать и изумляться сложности и богатству вида, расстилающегося перед вами.

Повернувшись к нему спиной, вы увидите бескрайнее открытое пространство, которое простирается до самого горизонта. Если отбросить редкие деревеньки и городки, примыкающие к окраине, мегаполис кажется одиноким путником в пустыне. Но далекие просторы зачаровывают ваш взгляд. Вы щуритесь и различаете вдали несколько слабых отсветов. Куда ни падает взгляд, вы видите все больше и больше таких огоньков, и наконец понимаете, что этот город не одинок, а мир — гораздо больше, чем вам казалось, и в нем могут быть и другие города, похожие на ваш.

То же относится и к галактикам, которым посвящена эта книга: здесь рассказывается о том, что мы знаем о них, а что все еще остается неизвестным. Для Галактики, в которой мы живем, Земля, Солнце и Солнечная система — лишь мельчайшие компоненты, но Вселенная полна и других галактик разных форм и размеров. По самым точным подсчетам, во Вселенной от 200 млрд до 500 млрд галактик. Как мы увидим далее, многие из них похожи на нашу, а другие отлича-

ются — и довольно сильно. Задача внегалактической астрономии — понять, как они появились.

Пожалуй, самое потрясающее в галактиках — не они сами, а то невероятное расстояние, которое их разделяет. Лишь недавно люди смогли установить, что галактики представляют собой автономные объекты, изолированные безбрежными пучинами космоса. С этого открытия началось стремительное развитие наших представлений об их сущности, формировании и эволюции. Теперь мы можем проводить необычайные эксперименты и измерения и, что еще важнее, интерпретировать полученные результаты. Мы можем находить пульсирующие флуктуации реликтового излучения Большого взрыва, с которых началось формирование галактик. Мы можем наблюдать гибель звезд, взрывающихся в далеких галактиках, и отслеживать их тускнеющее сияние, чтобы получить данные как о процессе формирования галактик, так и об общей эволюции и судьбе Вселенной. А сегодня мы уже работаем над экспериментами, цель которых — обнаружить следы момента, когда началось образование первых звезд в первых галактиках. Далее в книге мы рассмотрим некоторые из этих тем.

Многие говорят, что мы живем в золотом веке изучения происхождения, эволюции и гибели галактик. Но следует помнить: как вид мы только-только начали действительно осознавать, что за пределами звездного скопления, которое мы называем Млечным Путем, существуют и другие звездные системы. Что звезды, которые мы видим на ночном небе, находятся от Земли почти так же невообразимо далеко, как и остальные галактики от Млечного Пути. Эта концепция Вселенной была экспериментально подтверждена в начале XX века.

Сначала мы создали карту галактик, расположенных недалеко от нас: благодаря такой близости свет от них виден достаточно отчетливо на нашем небе. Спустя столетия астрономы, стремясь познать Вселенную и вооружившись современными технологиями, исследовали миллионы галактик: создали карты их расположения в космосе, проанализировали состав и измерили движение. Теперь мы можем фиксировать сигналы галактик, излучение которых в миллиарды раз слабее, на частотах, которые не может воспринимать человеческий глаз — единственный инструмент, доступный нашим предкам, когда люди впервые заинтересовались содержанием небес.

Но что такое галактики? Из чего они сделаны? Насколько они велики? Как они образуются? Почему существуют разные типы галактик и как они изменились со временем? Эти вопросы — краеугольный камень исследований в сфере эволюции галактик. Все это мы рассмотрим далее в книге, но многие из этих вопросов все еще ждут ответа, так же как и многие тайны космоса все еще нуждаются в разгадке. Именно предвкушение новых открытий делает эту область самой увлекательной в астрономии и, возможно, во всей науке. Я не только познакомлю вас с последними достижениями, но и подробно расскажу об азах астрономического исследования. Как оно проводится, какие инструменты мы используем и чем на самом деле заняты астрономы каждый день? Первая остановка этого космического путешествия — наш дом и город, который лежит перед нами.

Via Lactae

Посмотрите на небо ясной темной ночью, лучше всего — в фазе молодой Луны (когда ее не видно) и вдалеке от городской застройки на небе. Глазам понадобится пара минут на адаптацию к темноте, чтобы зрачки расширились и лучше воспринимали слабый свет, исходящий из-за пределов атмосферы. Теперь изучите небосвод: вы заметите, что плотность звезд возрастает там, где небо пересекает слегка светящаяся полоска. Это плоскость нашей Галактики в форме диска, где сконцентрировано множество звезд. Первые классические астрономы назвали его *Via Lactae*, или «Млечный Путь». Расположение звезд над нами представляет собой организованную структуру: в случае с нашей Галактикой мы видим диск, в котором находится наша система. Эта полоска — свет миллиардов звезд, которые наш глаз не может воспринимать по отдельности, только как рассеянное свечение — чем оно ярче, тем плотнее концентрация звезд в диске. Если вы взглянете на созвездие Стрельца, то будете смотреть в самый центр Галактики, где плотность материи больше всего, — это *балдж*, то есть утолщение со звездным населением, расположенное в центре большого диска.

Если ваш взгляд пересечет Млечный Путь под углом в 60 градусов, вы сможете увидеть другую слабо светящуюся



полоску, идущую от горизонта, где Солнце только что село или собирается встать. Это свечение испускается орбитальной плоскостью (*эклиптикой*) нашей Солнечной системы. Оно называется *зодиакальным светом* и представляет собой отражение солнечного света от бесчисленных частиц камней и пыли, попавших в ловушку рассеянного диска Солнечной системы. Угол наклона плоскости эклиптики по отношению к звездной полоске Млечного Пути показывает, как наклонена орбитальная плоскость Солнечной системы относительно галактической. Плоскость внутри плоскости.

Наша Солнечная система находится очень далеко от балджа — примерно на второй трети расстояния от центра Галактики до ее внешнего края. Галактический диск не такой уж плоский: посмотрев в *любом* направлении от Земли, мы увидим, что над нами, под нами и вокруг нас немало звезд, расположенных довольно близко. Хотя они находятся на разном расстоянии от Земли, наши глаза воспринимают их как статичные объекты разной



Панорамный снимок Млечного Пути в видимом свете, на котором ясно различается галактический диск и яркий, но частично затененный межзвездной пылью балдж. Наша Галактика относится к большим спиральным галактикам с *перемычкой* — структурой, присоединяющей спиральные рукава к ядру

степени яркости на поверхности гигантской сферы, окружающей нашу планету. Именно такую картину долгое время изображали астрономы — «недвижимые светила» на «небесной сфере». На самом деле многие звезды сдвигаются на небольшие, но легко измеряемые расстояния, и мы называем их *звездами с собственным движением*. Так происходит потому, что они быстро перемещаются в космосе: это движение можно отследить, внимательно наблюдая за ежегодной сменой их координат на небе. Обычному наблюдателю с человеческой шкалой времени звезды, как правило, кажутся абсолютно неподвижными, но если бы он прилеж вздремнуть на пару миллионов лет, то, проснувшись, увидел бы совершенно другие созвездия. Галактика и ее составляющие находятся в постоянном движении.

Что человеческий глаз не в силах распознать, так это трехмерную картину распределения звезд, рассеянных в космосе на разном расстоянии от Земли. Следует отметить, что большинство созвездий — это случайные, схожие с узнаваемыми обра-

зами построения звезд, удаленных от нас на разные дистанции. На планете, расположенной в другой области Млечного Пути, астроном увидит совсем иной набор созвездий.

Некоторые скопления звезд физически *связаны* друг с другом. *Бинарные системы* состоят из двух звезд, вращающихся вокруг общего центра масс. Зачастую они настолько удалены от нас, что человеческому взгляду трудно их разделить. Иногда одна звезда бинарной системы кажется ярче другой, заглушая ее блеск; пример такой двойной системы — Сириус, ярчайшая звезда ночного неба. Большую часть звезд в нашей Галактике составляют именно бинарные системы. Существуют и более крупные *звездные скопления*. Они появляются из-за того, что многие звезды образуются в одном месте в результате коллапса газовых облаков — настоящих звездных колыбелей галактик. Популярный пример — кластер Плеяд в созвездии Тельца, также известный как Семь Сестер. Звезды Плеяд сформировались достаточно недавно по астрономическим меркам; они отличаются повышенной яркостью и расположены довольно близко друг к другу, что позволяет увидеть это скопление невооруженным глазом.

В области Млечного Пути, называемой *гало*, мы также находим загадочные глобулярные кластеры, рассеянные по диску Галактики, — это очень плотные *шаровые скопления* из сотен тысяч звезд, которые удерживает вместе гравитация. Каждый глобулярный кластер гравитационно привязан к Млечному Пути, кружась вокруг него, как мухи над тарелкой с едой. Процесс их формирования все еще не до конца понятен, но они содержат одни из древнейших частиц Галактики, а потому являются ключом к расшифровке истории возникновения Млечного Пути и других галактик. Маленький телескоп или бинокль поможет увидеть некоторые известные глобулярные кластеры, представляющие собой одну из самых эффектных галактических достопримечательностей.

Трехмерное расположение близких к Земле звезд было нанесено на карту методом *параллакса* — одного из самых старых инструментов определения расстояния в астрономии. Понимание, что такое параллакс, позволит вам узнать о базовой единице измерения расстояния, которую используют профессиональные астрономы, — *парсеке* (пк). Позже, когда мы будем обсуждать огромные масштабы других галактик, мы еще



Омега Центавра, самый большой глобулярный кластер Млечного Пути, — это скопление 10 млн звезд в среде под названием «галактическое гало», окружающей диск Галактики. В гало находится около 200 известных глобулярных скоплений нашей Галактики, представляющих собой ее самых старых обитателей, хоть и с неясным происхождением. Омега Центавра может оказаться останками карликовой галактики, которая когда-то была поглощена Млечным Путем. В этом качестве она содержит археологические ключи к раскрытию истории формирования нашей Галактики

встретимся с этим понятием. Парсек — это единица измерения, которая содержит в себе гигантское значение в метрах. Его запись обычным способом была бы слишком громоздкой, причина примерно та же, что и с поездками на машине — мы не считаем их в сантиметрах.

Закройте один глаз и сосредоточьтесь на кончике большого пальца, вытянув руку вперед. Теперь откройте глаз и закройте другой. Кажется, будто позиция пальца изменилась относительно поверхности земли. Это и есть *параллакс* — сдвиг видимой позиции объекта при изменении угла зрения наблюдателя. Зная расстояние между точками наблюдения (в данном случае между вашими глазами) и угол смещения видимой позиции объекта, можно определить фактическое расстояние до него, используя методы простой тригонометрии. Ваш мозг проводит такие вычисления постоянно, тем самым отчасти формируя восприятие глубины. Мы не воспринимаем глубину в звездной области так, как осознаем ее в нашем привычном окружении: звезды настолько далеки от нас, что видимые изменения их положения крайне незначительны.

Тот же опыт можно повторить и со звездами, но для вычисления астрономического параллакса нам потребуются гораздо большее расстояние между точками наблюдения и высокоточные измерения положения звезд на небе. Природа, как оказалось, снабдила нас простой техникой для выполнения этой задачи. Каждые шесть месяцев все изменяет положение на 300 млн км, когда ежегодный орбитальный путь Земли приводит ее на противоположную сторону Солнца. Фиксировать положения некоторых далеких звезд, а затем повторять эти измерения полгода спустя можно с помощью того же большого пальца, ведь расположение наших глаз относительно звезд меняется. Конечно, ждать все шесть месяцев необязательно, но именно такой срок даст наиболее длинное базовое расстояние между точками наблюдения и самые точные измерения видимого смещения, а значит, и максимально корректное для этого метода исчисление расстояния.

Измеряя положение звезд или нанося на карту любой объект в небе, мы работаем в небесной системе координат, где координаты светил, или точек, задаются двумя угловыми величинами (или дугами), однозначно определяющими положение объектов на небесной сфере. Такой подход основывается на



Глобулярный кластер 47 Тукана — один из самых знаменитых небесных объектов, которые можно увидеть невооруженным глазом в Южном полушарии. Здесь он изображен в ближнем инфракрасном диапазоне, причем на снимке хорошо видно плотный шар из миллионов звезд. Примечательно, что этот кластер на небе кажется одного размера с Луной, хотя он расположен примерно в 350 млрд раз дальше. Все эти звезды в глобулярном скоплении удерживает гравитация; они вращаются вокруг общего центра масс. Сам кластер, в свою очередь, гравитационно связан с Млечным Путем. Все массивные галактики окружены таким отрядом, в который входит от нескольких сотен до нескольких тысяч глобулярных кластеров (последние относятся к самым массивным галактикам, таким как *эллиптические*). Кластер 47 Тукана — любимец всех астрономов, так как содержит немало крайне интересных популяций звезд. Яркие звезды, кажущиеся желто-оранжевыми на этом снимке, — это массивные звезды, называемые *красными гигантами*. Они находятся на той стадии звездной эволюции, когда большая часть водорода уже выгорела и происходит горение гелия, в процессе чего звезда увеличивается до суперразмеров. Их красный цвет вызван относительно низкой температурой поверхности (низкой для звезды, конечно) — около 4000 К. Бетельгейзе — яркая звезда в созвездии Ориона и хороший пример красного сверхгиганта. Такие звезды помогают нам понять, что происходит на критической фазе звездной эволюции

концепции небесной сферы — гипотетического гигантского экрана, который окружает Землю и на котором «отражаются» все отдаленные астрономические источники. Эта система широты и долготы похожа на ту, что используется на искривленной поверхности Земли, только в случае астрономии меридианы проходят по внутренней поверхности сферы и называются *прямым восхождением и склонением*. Как и расположение того или иного места на Земле, которое может быть указано парой широты и долготы, мы определяем положение небесных объектов прямым восхождением (α , или RA) и склонением (δ). Угловое расстояние между любыми двумя координатами в этой системе — это расстояние вдоль части круга, получаемого при сечении сферы плоскостью, проходящей через ее центр. Такой круг называется *большим*, а самое большое сечение из возможных составляет 180 градусов. Полная Луна, к примеру, занимает полградуса на этой сфере. Часто астрономы ставят изображение полной Луны рядом со снимками больших астрономических объектов для удобного сравнения их угловых размеров.

Мы можем использовать более точные величины, нежели градусы: как и час, состоящий из 60 минут, градус может быть разделен на 60 угловых минут, а каждая угловая минута — на 60 угловых секунд. Расстояние, обозначаемое одной угловой секундой, видно примерно так же, как ширина пряди волос с 10 м. Мы можем пойти дальше и разделить расстояние на еще меньшие отрезки (в теории — на сколько угодно единиц), но на практике самое малое деление для определения положения небесных объектов ограничивается измерительными приборами и их разрешительной способностью. Собственные движения звезд часто измеряются тысячными долями угловой секунды, которые, как правило, не воспринимаются человеческим глазом без помощи аппаратуры.

Теперь давайте рассмотрим гипотетическую звезду, которая видна на нашем небесном экране. Предположим, мы уже один раз замерили ее положение, а теперь спустя шесть месяцев снова проводим измерения и сравниваем результаты. Разница в нашем физическом измерении составляет двойное расстояние от Солнца до Земли. Если видимое изменение положения звезды составляет две угловые секунды, значит, расстояние до звезды равно одной паралактической секунде, или 1 пк. Итак, парал-

лактические измерения — это способ определения истинного расстояния до звезд. Но если видимое изменение положения звезды становится меньше по мере ее удаления, наступит момент, когда точные измерения произвести будет уже нельзя. Другими словами, параллакс работает, только когда мы измеряем расстояния довольно небольшого пространства вокруг нас.

Возможно, вы привыкли к тому, что в астрофизике расстояния измеряют *световыми годами*, то есть расстоянием, которое свет преодолевает в вакууме за один год. На самом деле, за некоторым исключением, внегалактические астрономы чаще используют именно парсеки: это более эмпиричный способ, так как определение построено на геометрических принципах измерений. Для сравнения: 1 пк эквивалентен расстоянию, превышающему три световых года. Ближайшая к Солнцу звезда, Проксима Центавра, находится на расстоянии 1,3 пк, а на удалении 10 пк найдется еще несколько сотен звезд. Положения и параллаксы более 2,5 млн звезд (и их собственные движения) были картографированы при помощи европейского космического телескопа *Hipparcos* — (акроним от англ. *High Precision Parallax Collecting Satellite* — Высокоточный спутник для сбора параллаксов, созвучный с именем древнегреческого астронома Гиппарха), собиравшего данные с 1989 по 1993 год. Недавно запущенный спутник «Гайя» (англ. *Gaia*) сейчас проводит новую топографическую съемку положений миллиардов звезд в галактике для создания наиболее точной и полной трехмерной карты нашего космического дома. Тем не менее это лишь первые наброски: «Гайя» проведет измерения только 1 % от всех звезд Млечного Пути (как будто мы слегка высунули нос за дверь нашего дома и попытались увидеть все дома по соседству), но все же «Гайя» — невероятный прорыв в этой сфере. В Галактике гораздо больше звезд, чем мы способны измерить методом параллакса, и основная их часть расположена в этой яркой полоске Млечного Пути, которую мы видим на небе.

Отведя взгляд от полоски Млечного Пути, мы начнем рассматривать пространство над или под галактическим диском — область действительно глубокого космоса, за пределами Галактики. Вдали от ближайших к нам звезд, за пределами диска, простирается тихая и темная бездна, таящая в себе другие галактические миры. Их много — сотни и сотни миллиардов. Увы, пока мы



«Сверхглубокое поле “Хаббла”» — «окно» в очень далекие регионы Вселенной. Почти каждая световая точка на этом снимке — это галактика, открытая, когда телескоп «Хаббл» снимал небольшие участки космоса (около 10 % диаметра полной Луны) с очень длинной выдержкой. Здесь можно различить детали этих относительно близких к нам, но все же очень далеких галактик, среди которых ясно выделяются спиральные и эллиптические. Однако определить формы и размеры самых дальних из них практически невозможно: на снимке это светлые и красные точки размером всего в несколько пикселей. Тем не менее обнаружение этих галактик крайне важно для науки, так как оно позволит узнать больше о том, какими были галактики в эпоху ранней юности Вселенной. Свет от самых дальних галактик, изображенных на снимке, возник, когда Вселенной было всего полмиллиарда лет. Через эту фотографию мы смотрим в прошлое