
ПРЕДИСЛОВИЕ

Астрономия вступила сегодня в эпоху крупнейших открытий. В последние годы найдены планеты вне Солнечной системы, собраны почти неопровержимые доказательства существования черных дыр, обнаружено всемирное антитяготение. Столь щедрых на революционные открытия лет в истории астрономии никогда еще не бывало. На наших глазах древняя наука переживает необычайный взлет, и это стало возможным благодаря мощным наземным и орбитальным телескопам нового поколения, которые необычайно расширили возможности астрономических наблюдений.

На очереди грандиозные задачи завтрашнего дня, уже обеспеченные совершенной наблюдательной техникой, и самая увлекательная среди этих задач — поиск жизни на других планетах.

В этой книге читатель найдет краткий рассказ о новейших событиях в астрономии наших дней, о долгожданных и неожиданных наблюдательных открытиях, о дерзких идеях и гипотезах астрономов.

Материал книги охватывает широкий круг тем. Мы говорим об эволюции Вселенной, о галактиках, звездах, черных дырах, скрытой материи, о поисках внеземной жизни, опираясь на твердо установленные наблюдательные факты.

Затем мы переходим к космологии, предметом которой служит самый большой объект науки — вся видимая Вселенная. В современной Вселенной почти безраздельно господствует всемирное антитяготение, только что открытое по наблюдениям вспышек сверхновых звезд в удаленных галактиках.

Антитяготение создается космическим вакуумом, и этот вакуум — не пустота: его энергия больше суммарной энергии всех других форм материи на современной стадии эволюции мира.

Однако читатель вправе спросить: как можно изучать физические характеристики астрономических объектов, удаленных от нас на такие громадные расстояния. Ведь даже свет идет к нам от ближайшей звезды около четырех лет. А от далеких галактик свет идет к нам миллиарды лет.

Астрономия отличается от лабораторной физики: если физик при исследовании объекта может приблизиться к нему, нагреть, сжать его и даже расчленить на части, то астроном не может непосредственно воздействовать на объект и все, что остается делать — это регистрировать различные виды излучения от него. Поэтому астроном при анализе результатов наблюдений чаще всего решает так называемую обратную задачу, когда по наблюдаемым следствиям некоторого процесса необходимо судить о физических причинах, его породивших.

Хотя астрономы при исследовании объектов Вселенной находятся в роли пассивных наблюдателей, надежность выводов о физической природе астрономических объектов гарантируется применением современных высокоэффективных методов и средств наблюдений в очень широком диапазоне спектра электромагнитных излучений: от гамма-квантов до радиоволн, включая оптический, инфракрасный, ультрафиолетовый и рентгеновский диапазоны.

Если до середины прошлого века астрономы наблюдали небо лишь в оптическом диапазоне (длина волны λ меняется от 3500 до 7000 ангстрем, то есть всего в два раза), то в настоящее время, благодаря выносу астрономических телескопов за пределы земной атмосферы на космических аппаратах, удается исследовать астрономические объекты в неизмеримо большем диапазоне, когда длина волн регистрируемого излучения меняется не в два раза, а в 10^{14} раз: от гамма квантов ($\lambda \approx 10^{-9}$ см) до радиоволн ($\lambda \approx 10^5$ см).

Например, изучая черные дыры в двойных звездных системах, астрономы используют рентгеновский диапазон ($\lambda \approx 1$ анг-

стрем или 10^{-8} см) совместно с оптическим ($\lambda \approx 5 \times 10^{-5}$ см) и радиодиапазоном.

Следует особо подчеркнуть, что к настоящему времени в разных странах введена в строй дюжина 8–10 метровых оптических телескопов нового поколения, а эффективность фотоприемников многократно возросла благодаря использованию ПЗС-матриц, которые регистрируют до 90 фотонов из каждых 100, упавших на приемник излучения.

Огромный прогресс достигнут в последние годы и в радиоастрономии: например, используя метод интерферометрии со сверхдлинной базой, удастся достичь углового разрешения в 1000 раз выше разрешающей способности знаменитого космического телескопа Хаббл с зеркалом диаметром в 2,4 метра.

Для чтения этой книги не требуется каких-либо специальных знаний, выходящих за рамки обычной школьной физики и астрономии. Мы старались говорить лишь о самой сути дела, не входя в технические подробности и не перегружая текст математическими формулами; те немногие формулы, которые у нас все же приводятся, по существу просты и наглядны.

В конце книги помещен составленный издательством словарь, поясняющий главные из используемых астрономических понятий и терминов.

Авторы благодарны коллегам в Московском Университете Л. И. Корочкину, Д. В. Гальцову, Ю. Н. Ефремову, Ф. А. Цицину, которые прочитали отдельные части рукописи и сделали множество ценных замечаний.

Государственный астрономический институт
им. П. К. Штернберга
Июнь 2003 г.

АСТРОНОМИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА

Истоки астрономии

Наскальные астрономические рисунки, встречающиеся в разных частях света, были первой попыткой человека запечатлеть и осознать картину мира, в котором мы живем. Древние майя чертили такие рисунки более шести тысячелетий назад. Пять тысяч лет назад появились первые астрономические записи в Египте, Вавилоне, Китае.

В древнеиндийской «Ригведе», что значит «Книга гимнов», можно найти описание — одно из самых первых в истории человечества (X век до н. э.) — всей Вселенной как единого целого. Согласно этому описанию, Вселенная устроена не слишком сложно. Прежде всего, в ней имеется Земля. Она представляется «обширным пространством» и имеет вид безграничной плоской поверхности. Эта поверхность покрыта сверху небом. А небо — это «голубой свод», усеянный звездами. Между небом и Землей — «светящийся воздух».

Очень похожи на эту картину и ранние представления о мире у древних греков и римлян — тоже плоская поверхность под куполом неба.

От настоящей науки это еще очень далеко. Но замечательна и грандиозна сама цель — объять мыслью всю Вселенную. Отсюда берет истоки уверенность в том, что человеческий разум способен осмыслить, понять и воссоздать в своем воображении полную картину мира. Наука о мире в целом складыва-

лась по мере того, как шло накопление конкретных знаний о Земле, Солнце, Луне, планетах, звездах, а затем уже и о галактиках и их системах.

Мир Аристотеля

В VI веке до н.э. Пифагор учил, что Земля шарообразна. Доказательством этому служила, например, круглая тень нашей планеты, падающая на Луну во время лунных затмений. Парменид, а за ним и Аристотель, всю Вселенную считали шарообразной, сферической. На эту мысль наводит не только округлый вид небосвода, но и круговые суточные движения небесных светил.

В центре мира Аристотель помещает Землю. Вокруг нее располагаются Солнце, Луна и известные тогда пять планет — Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн. Каждому из этих тел соответствует своя сфера, обращающаяся вокруг нашей планеты. Тело прикреплено к своей сфере и потому оно тоже движется вокруг Земли. Самой удаленной сферой, охватывающей все остальные, считалась восьмая, на которой располагались звезды. Эта сфера тоже обращается вокруг Земли в соответствии с наблюдаемым суточным движением неба.

Аристотель учил, что небесные сферы, как сами небесные тела, сделаны из особого небесного материала — эфира. Эфир — это пятая стихия, т.е. квинтэссенция, после земли, воды, огня и воздуха. Он не имеет свойств тяжести или легкости и существует в вечном кругообразном движении.

Система Птолемея

Такая геоцентрическая картина мира царила в умах людей на протяжении двух тысячелетий — вплоть до эпохи Коперника. Замечательное ее усовершенствование осуществил во II веке нашей эры Птолемей, астроном и географ, живший в Александрии. Он создал строгую математическую теорию движения планет и на ее основе мог весьма точно вычислять видимые положения светил на небе — где они находятся сейчас, где



Рис. 1.1. Клавдий Птолемей (2-й век новой эры).

Таким образом его безмян- ный европейский иллюстратор, живший много веков спустя. Пто- лемей был астрономом, астроло- гом, географом и философом. Точ- ные даты его рождения и смерти не известны. Полагают, что он про- жил 78 лет и умер в 141, а может быть, в 151 году. Родом он с берегов Нила, и в дельте Нила, в Алек- сандрии, устроил обсерваторию на крыше одного из крупных храмов. Собрание его астрономических тру- дов называется «Альмагест», в араб- ской традиции. Сам автор называл

его «Синтаксис». Астрономы Востока сохранили этот труд после падения античной цивилизации, и, благодаря им, он стал доступен всему миру. Более тысячелетия «Альмагест» служил источником ценнейших астрономических данных. Освященный авторитетом католической церкви, он был сводом общепринятых сведений о космосе и месте в нем человека. Уже в новейшие времена Птолемея обвиняли (как считают специалисты, без достаточных оснований) в научном плагиате: якобы он заимствовал — без ссылок на первоисточник — звездный каталог, составленный ранее Гипархом, другим знаменитым астрономом древности.

Споры вокруг Птолемея продолжаются и до сих пор; дело дохо- дит порой и до совсем вздорных идей. Некогда прекрасный матема- тик, а ныне небезызвестный писатель квазиисторических небывлиц (из стен Московского Университета, увы) утверждает, что никакого Птолемея никогда не было, а его труд — средневековая подделка. Но нет худа без добра: кто и не видел «Альмагест» своими глазами, тот сейчас снимет его с полки и с почтением и восхищением про- четет или, по крайней мере, пролистает.

были раньше и где окажутся потом. Для воспроизведения всех тонких деталей движения планет по небу к прежним пяти кон- центрическим небесным сферам пришлось добавить новые, центры которых уже не совпадали с центром Земли.

У Птолемея каждая планета участвует в нескольких круго- вых движениях, а их сложение и дает видимые пути небесных

тел. Птолемей писал, что «наблюдаемые небесные явления воспроизводятся неизменными круговыми движениями». Основные вращения назывались циклами, а добавочные эпициклами; их число доходило до 55 в некоторых вариантах.

В середине XIV века (а это был век увлечения техническими изобретениями в Европе) часовых дел мастер из Падуи изготовил не простые часы, а то, что называли астрариумом. Конечно, эти часы показывали время и притом с довольно высокой точностью. Но это не все: астрариум воспроизводил видимые перемещения Солнца, Луны и планет по небесной сфере. И все это в полном соответствии с астрономическими знаниями той эпохи. Это была в действительности вполне удавшаяся попытка построить действующую модель Вселенной, то есть это было воспроизведение Вселенной в действии посредством часового механизма.

Многочисленные цепляющиеся друг за друга колеса астрариума воспроизводили своим вращением циклы и эпициклы Птолемея, так что вся эта часовая машина представляла собою систему Птолемея «в металле», как сказали бы инженеры. Модели Вселенной, подобные астрариуму, наглядным и очевидным образом демонстрировали любому человеку небесную механику, устройство и движение мира.

Система Аристотеля—Птолемея — это тоже модель Вселенной, но в отличие от астрариума, она воспроизводит мир в теоретическом виде — в виде чисел, таблиц, графиков. Она позволяет вычислить наперед пути небесных тел, и такие теоретические предсказания проверяются потом прямыми астрономическими наблюдениями. Эти предсказания неизменно и с хорошей точностью подтверждались, и модель с немалой пользой служила людям на протяжении четырнадцати веков (если считать от Птолемея).

В современной науке тоже строят теоретические модели Вселенной, или космологические модели. Они описывают уже не Солнечную систему с ее планетами, а весь мир звезд и галактик, ставший доступным астрономическим наблюдениям; о них речь пойдет далее в главе 4.

Коперниковская революция: гелиоцентрическая Вселенная

Небесная механика Птолемея была сложной, но не громоздкой. В ее сложности есть своя логика, своя гармония и даже красота. Но, судя по всему, природа предпочитает простоту.

Эту простоту мира разгадал Коперник. Сначала в 1515 г. в «Малом комментарии», а затем и в своей главной книге, вышедшей в год его смерти (1543), Коперник предложил гелиоцентрическую систему мира. Его книга носила скромное название «О вращениях небесных тел». Но это было дерзкое и решительное ниспровержение аристотелевского взгляда на мир.

Благодаря Копернику мы узнали, что не Земля, а Солнце занимает центральное положение в планет-

Рис. 1.2. Система мира Коперника, как она наглядно изображена в его книге. Солнце здесь в центре орбит Меркурия, Венеры, Земли, Марса, Юпитера и Сатурна. Внешний круг — сфера неподвижных звезд.

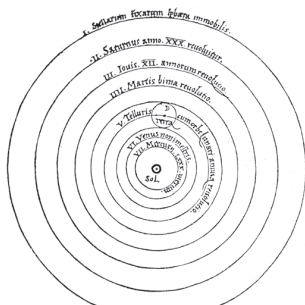


Рис. 1.3. Николай Коперник (1473–1543).



В 1973 г. астрономы всего мира праздновали 500-летие великого ученого. Большие торжества были в Варшаве, по «нашу» сторону железного занавеса, и для советских астрономов это была редчайшая по тем временам возможность лично встретиться с западными коллегами, которых давно и хорошо знали по их книгам и статьям.

Славно, что Коперник был поляк, не правда ли! — говорили нам новые друзья.

ной системе. При этом основные черты движения планет получили самое естественное объяснение. Земля же никакой не центр мира, а одна из рядовых планет, обращающихся вокруг Солнца. Так все стало на свои места, и простое устройство Солнечной системы оказалось распознанным.

С этого времени сложная картина небесных сфер и циклов отошла в прошлое. Началась новая эпоха в изучении и понимании Вселенной. Продолжалась она почти пять столетий,



Рис. 1.4. Иоган Кеплер (1571–1630).

Математический талант и проницательность астронома вместе с необычайным трудолюбием и усердием позволили ему извлечь из огромной груды сырого материала наблюдений простые и стройные законы движения планет. Главный из них гласит: каждая планета обращается по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце.

В Праге показывают округлую стену старого собора, вблизи которого жил тогда (в 1609 г.) Кеплер.

В поперечном сечении она представляет собой эллипс; эта ее форма, которую астроном внимательно изучил, и натолкнула его, как говорят, на мысль о космических эллипсах, которые заменили, с тех пор и навсегда, циклы и эпициклы Птолемея.

В Прагу он приехал выпускником Тюбингенского университета, чтобы занять место ассистента при Тихо Браге, знаменитом астрономе (и большом вельможе) тех лет, и после безвременной кончины патрона в 1601 г. унаследовал от него почетный титул Императорского математика.

Император Священной Римской Империи Рудольф Второй не слишком исправно платил жалование научным работникам и в результате сильно задолжал Кеплеру. Поговаривали, что Императорскому математику приходилось подрабатывать на жизнь составлением заказных гороскопов.

Он был лютеранин, и религиозные гонения, обострившиеся время от времени, заставляли его переезжать с места на место; он и умер в дороге, перебираясь из Линца в Баварию.

вплоть до второй революции в астрономии, которая пришлась на 20-е годы XX века. После Коперника мы уже не можем рассматривать нашу Землю как какое-то особое место в пространстве. Наше положение в мире ничем особым не выделено — это общее утверждение называют принципом Коперника.

Замечательно, что задолго до Коперника, в середине III века до н.э., идею движения Земли вокруг Солнца обсуждал Аристарх Самосский. Эта идея вновь возникла в XI в. н.э. на Востоке в трудах энциклопедиста Бируни. Но она завоевала умы лишь благодаря Копернику и его книге. И это несмотря на церковный запрет, который был наложен на учение Коперника в 1616 г. и действовал (формально) до 1828 года.

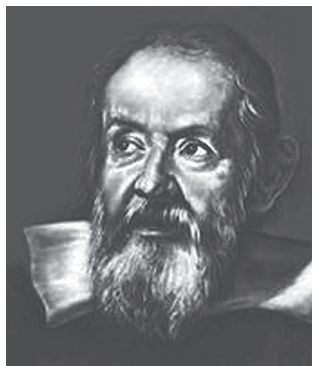
Победе нового взгляда на мир в очень значительной степени способствовали усилия Галилея. В 1632 г. вышло его изложение системы Коперника, книга «Диалог о двух главнейших системах мира», написанная ясно и просто. Одно из преступлений, в которых инквизиция обвиняла Галилея, касалось формы и стиля его сочинений. Возмущало, что он пишет так, что это понятно обыкновенным людям.

Рис. 1.5. Галилео Галилей
(1564–1642).

Математик, физик, астроном, мыслитель. Галилей открыл закон падения тел в поле тяжести: все тела падают с одинаковым ускорением независимо от их собственной массы и размера, если исключить сопротивление воздуха.

Он учился медицине в Университете Пизы, но, как считают современные историки науки, вряд ли бросал предметы с верхнего яруса Пизанской башни. Он наблюдал в университетском соборе качания люстры и заметил, что период колебаний не зависит от их размаха. Потом он надежно проверил этот факт в лабораторных экспериментах с маятником.

Он вряд ли воскликнул: «А все-таки она вертится!» после объявления ему обвинительного вердикта. Но «упрямый Галилей», как назвал его Пушкин, наверняка так думал в тот момент.



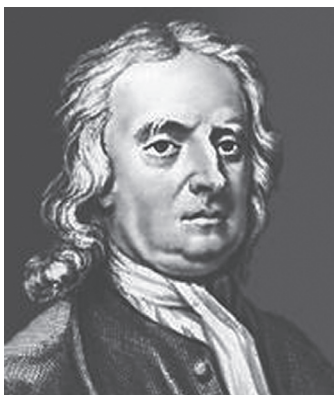


Рис. 1.6. Исаак Ньютон
(1642–1727).

Его главный труд «Математические начала натуральной философии», опубликованный в 1687 году, содержал открытые им, и всем теперь известные, три закона классической механики и закон всемирного тяготения. Идея всемирного тяготения посетила его, когда он увидел падение созревшего яблока. Так гласит легенда, рассказанная Вольтеру племянницей Ньютона, а может быть, и сочиненная великим вольнодумцем, от

которого ее узнал весь свет.

Изящный и просвещенный век видел в этой истории прозрачную аллегория: сама Природа дарит своему избраннику зрелый плод от дерева познания.

«Начала» существуют в превосходном русском переводе академика и адмирала А. Н. Крылова, который перепроверил все математические выкладки Ньютона, перечертил все его чертежи и по ходу дела устранил немало мелких огрехов, а главное — дал ясный комментарий к ключевым местам этого фундаментального труда. В основе основ механики Ньютона лежит представление об абсолютном времени и абсолютном пространстве, которые существуют сами по себе и остаются всегда и везде неизменными по своим свойствам. Так все и думали после Ньютона, пока не пришел Эйнштейн.

Был этот мир крошечной мглой окутан.

Да будет свет! — и вот явился Ньютон.

Но сатана не долго ждал реванша:

Пришел Эйнштейн, и стало все как раньше.

(Фольклор физиков)

Исаак Ньютон, родившийся в год смерти Галилея (1642), превратил учение Коперника в точную науку. Он открыл закон всемирного тяготения и на этой основе создал теорию движения небесных тел. Применительно к Солнечной системе небесная механика Ньютона открыла причину, по которой Земля и планеты движутся по своим орбитам — их удерживает на замкнутых орбитах сила тяготения Солнца. Замкнутые

орбиты могут быть идеально круговыми, как у Аристотеля и Птолемея.

В общем случае орбиты являются не окружностями, а эллипсами. Эллипсами, но не очень сильно отличающимися от окружностей, и являются в действительности орбиты Земли и планет. Эллиптичность планетных орбит открыл еще в 1609–1619 гг. Кеплер. Эмпирические законы планетных движений Кеплера — крупнейшее наблюдательное открытие Коперниковской эпохи в астрономии.

Ньютоновское тяготение — это поистине сила, что движет мирами. Огромное разнообразие явлений природы — от движения планет Солнечной системы до разбегания галактик во Вселенной прекрасно описывается ньютоновской механикой и теорией тяготения.

Мир звезд

Солнечная система — это еще не вся Вселенная. Есть ведь еще и далекие звезды. О них Коперник не высказывает в своей книге никакого определенного мнения. Он просто оставляет их на прежнем месте, на дальней сфере, где они были у Аристотеля. Он лишь счел нужным добавить (и совершенно правильно), что расстояния до звезд во много раз больше размеров планетных орбит.

Как и в классической древности, Вселенная в целом мыслилась у Коперника замкнутым шарообразным пространством, ограниченным этой сферой.

В хорошую ясную ночь, вне сумерек и без лунного света, в каждое мгновение на видимой половине неба можно увидеть невооруженным глазом от двух до трех тысяч звезд. В списке, составленном во II веке до н. э. знаменитым астрономом древности Гиппархом и дополненным позднее Птолемеем, значится 1022 звезды. Гевелий, последний астроном, производивший (в XVII веке) такие подсчеты без помощи телескопа, довел их число до 1533. Звездочеты, конечно, не только считали звезды, но и оценивали величину их блеска, измеряли координаты на небесной сфере. Это нелегкая работа, так что неудивительно,

что за многие века трудов до изобретения телескопа астрономы смогли занести в каталоги немногим больше половины звезд, видимых невооруженным глазом на северной небесной полусфере.

Уже в древности подозревали и о существовании большого числа звезд, не видимых глазом. Демокрит говорил, что белесоватая полоса, протянувшаяся через все небо, которую мы называем Млечным Путем, есть на самом деле соединение света множества невидимых по отдельности звезд. Споры о природе Млечного Пути продолжались веками. Решение — в пользу догадки Демокрита — пришло в 1610 г., когда Галилей сообщил о первых открытиях, сделанных с помощью телескопа. С понятным волнением и гордостью он писал, что теперь удалось «сделать доступными глазу звезды, которые раньше никогда не были видимыми и число которых, по меньшей мере, в десять раз больше числа звезд, известных издревле».

После этого открытия важнейшей задачей астрономии стало изучение Млечного Пути, этого гигантского собрания звезд, которые Галилей увидел в свой телескоп. Усилия поколений наблюдателей были нацелены на то, чтобы узнать, каково полное число звезд Млечного Пути, определить его действительную форму и границы, оценить размеры.

Лишь в XIX веке удалось понять, что это единая система, заключающая в себе и все видимые глазом звезды, и огромное число других звезд. На равных правах со всеми входит в эту систему и наше Солнце, а с ним Земля и планеты. Причем полагаются они далеко не в центре этого мира звезд, а на его окраине.

Гипотеза Бруно

Идея о том, что наше Солнце — рядовая звезда, но только самая близкая к нам, была высказана Джордано Бруно в 1584 г., еще до открытий Галилея. Его сочинение называлось «О бесконечности, вселенной и мирах» и содержало соображения о бесконечности пространства Вселенной, о множественности обитаемых планет. Если Коперник указал место Земле отнюдь

не в центре мира, то Бруно и Солнце лишил этой привилегии. Он сказал, что Солнце лишь одна из великого множества звезд Вселенной.

Конечно, это были только догадки, гипотезы, не имевшие под собой никакой наблюдательной основы. Они, во всяком случае, не противоречили никаким фактам науки. Это лишь необходимое, но не достаточное, условие правильности идеи. На тогдашнем уровне науки гипотезы Бруно нельзя было проверить — подтвердить или опровергнуть путем прямых астрономических наблюдений. В этом была их слабая сторона. Главное, однако, было вовсе не в этом.

Оказывается даже непроверенные на опыте идеи и предположения могут быть исключительно важны.

Яркие гипотезы, идеи необычайной смелости способны резко раздвинуть умственный кругозор людей. Так и произошло с гипотезой Бруно. Горизонты мира стали иными после Бруно. Такого простить не могли. Он был сожжен в 1600 году на Площади Цветов в Риме.

Несколько лет назад Папа Римский Иоанн Павел II принимал в Ватикане участников проходившего в Риме научного конгресса. Математик В. И. Арнольд спросил у него: Галилей недавно оправдан церковью; не пора ли оправдать и Джордано Бруно? Понтифик ответил: Почему бы и нет, но докажите сначала существование жизни на других планетах.

Раз Солнце — одна из звезд Вселенной, то тогда и другие звезды тоже вполне могут быть подобны Солнцу и иметь свои планетные системы. А на других планетах тоже возможна жизнь... Только в самые последние годы существование планет вне Солнечной системы было надежно доказано прямыми астрономическими наблюдениями. Астрономия вплотную подошла к научному поиску внеземной жизни. Это одна из главных тем нашей книги (глава 2).

Смелая гипотеза Бруно породила целый каскад поразительных следствий. Среди них и вполне конкретные и в высшей степени полезные для астрономии задачи и перспективы. Из этой гипотезы вытекала, в частности, возможность оценки расстояний до звезд.

Действительно, Солнце такое большое и яркое только потому, что оно близко к нам. А на какое расстояние нужно отодвинуть наше дневное светило, чтобы оно выглядело бы так, как, например, звезда Сириус?

Ответ на этот вопрос дал Гюйгенс в середине XVII века. Он сравнил блеск этих двух небесных тел, и оказалось, что Сириус находится от нас в сотни тысяч раз дальше, чем Солнце. Позднее эту оценку удалось улучшить, когда выяснилось, что Сириус не очень похож на Солнце, он много ярче сам по себе. По современным расчетам расстояние до Сириуса 2,6 парсек, что составляет приблизительно 8 световых лет, тогда как расстояние до Солнца — 8 световых минут.

Млечный Путь — наша Галактика

По мере изучения Млечного Пути стали постепенно вырисовываться основные черты его строения, как гигантской звездной системы. Эту звездную систему называют еще нашей Галактикой. Оказалось, что Галактика имеет весьма правильную форму, несмотря на видимую клочковатость Млечного Пути, на беспорядочность, с которой, как кажется, рассеяны звезды по небу.

Три главных структурных элемента выделяют в Галактике. Это диск, сферическая подсистема и гало — см. рис. 1.7. Диск похож на две сложенные краями тарелки. Он образован звездами, которые внутри этого объема движутся по почти круговым орбитам вокруг центра Галактики. Диаметр диска составляет приблизительно сто тысяч световых лет. Число звезд в диске — около ста миллиардов.

В сферической (в действительности, слегка сплюснутой с полюсов) подсистеме Галактики тоже около ста миллиардов звезд. Они движутся не по круговым, а по сильно вытянутым орбитам. Плоскости этих орбит проходят через центр Галактики. По разным направлениям плоскости орбит распределены более или менее равномерно. Диаметр сферической подсистемы близок к диаметру диска. Сферическая подсистема и вложенный в нее диск погружены в почти сферическое гало,

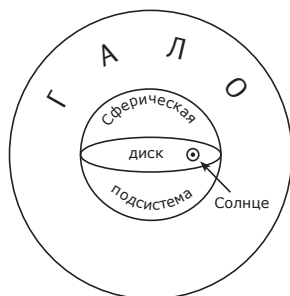


Рис. 1.7. Схема строения нашей Галактики.

На 90% по массе она состоит из темного вещества, которое заполняет огромный объем с поперечником приблизительно в десять диаметров звездного диска Галактики. В диске различают центральное уплотнение, которое называется балджем, а в самом центре всей системы находится черная дыра — ни то, ни тем более другое не изображено на этой простейшей схеме.

размер которого раз в 10 больше размеров диска. В гало нет звезд. Оно состоит из скрытых масс, или, как чаще сейчас говорят, темного вещества. Из гало не исходит никакого света. Темное вещество нельзя увидеть, оно проявляет себя только своим тяготением — по этому эффекту о его существовании и узнали.

Открытие гало Галактики и обнаружение темного вещества — событие 70–80-х годов богатого астрономическими (и не только) открытиями XX века. Значение этого открытия станет особенно ясным, если сказать, что масса темного вещества в гало Галактики в десять раз больше суммарной массы всех звезд. Физическая природа темного вещества — острая и еще очень далекая от решения проблема современной астрономии и космологии (глава 4).

Хаббл и вторая революция в астрономии: Вселенная — мир галактик

К началу XX века границы наблюдаемой Вселенной раздвинулись настолько, что включали в себя всю звездную (без гало) Галактику. Многие считали тогда, что эта огромная

звездная система и есть весь мир. Это была распространенная точка зрения; к ней склонялся, например, Эйнштейн, в своих размышлениях (1916–17 гг.) о новой космологии, которая бы строилась на основе только что созданной им общей теории относительности. Но новые телескопы, построенные в 1920-е годы, открыли перед астрономами совершенно новые горизонты. Оказалось, что за пределами Галактики мир не кончается.

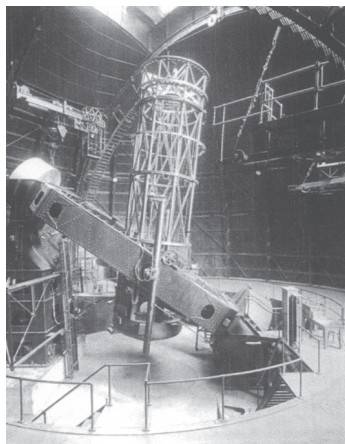
В 1924 г. Эдвин Хаббл доказал, что знаменитая Туманность Андромеды находится вне Галактики и представляет собой гигантскую систему звезд, сравнимую с Галактикой по размерам. Ему удалось сделать то, что за триста лет до него сделал Галилей — различить отдельные звезды там, где до этого видели лишь белесоватые облака. Как Галилей открыл звезды Млечного Пути, так Хаббл открыл звезды Туманности Андромеды. Если Галилею было достаточно телескопа диаметром в 3 см, то Хабблу потребовался телескоп с зеркалом, диаметр которого был чуть ли не в сто раз больше и составлял 2,5 м.

За несколько лет работы Хаббл смог установить истинную физическую природу двух дюжин ближайших к нам внегалактических туманностей, которые оказались такими же звездными системами, хотя и не столь крупными, как наша Галактика и Туманность Андромеды. Эти туманности стали называть галактиками. Становилось ясно, что Вселенная — это не мир звезд, а мир галактик, и наша собственная Галактика отнюдь не центр этого мира.

Дальнейшие наблюдения галактик показали, что большинство их, а может быть и практически все, собраны в различные коллективы, насчитывающие от нескольких единиц до сотен и тысяч галактик различной массы и размеров. Эти агрегаты называют группами и скоплениями галактик.

Наша Галактика вместе с Галактикой Андромеды и тремя десятками менее крупных галактик образуют Местную группу. Местная группа входит в скопление галактик в Деве, а это скопление составляет вместе с несколькими другими примерно такими же скоплениями систему, которая называется Местным сверхскоплением. Местное сверхскопление не имеет четко очерченной формы и в целом представляется несколько

Рис. 1.8. Телескоп обсерватории Маунт Вилсон в Калифорнии. Диаметр его зеркала — 100 дюймов, т. е. 2,5 метра. Он был построен в 1917 г. В 1924—29 гг. с его помощью Эдвин Хаббл сделал свои знаменитые открытия, положившие начало новой эпохи в астрономии.



уплощенным. Его наибольший размер достигает нескольких миллионов световых лет. Приблизительно так же устроены и другие скопления и сверхскопления галактик.

Сверхскопления — самые крупные образования, которые наблюдаются во Вселенной. Какие-либо системы большего масштаба просто отсутствуют. Так что иерархия астрономических систем не продолжается к сколь угодно большим масштабам, она ограничена масштабом сверхскоплений.

Исключительной важности факт состоит в том, что скопления и сверхскопления распределены в пространстве равномерно. Это означает что мир галактик однороден в среднем по большим масштабам.

Если мысленно выделить в объеме Вселенной области с размером в 300 миллионов световых лет (или более) и подсчитать в каждой из них число галактик, то это число окажется практически одинаковым для всех таких областей. То же самое будет и при подсчете скоплений и сверхскоплений.

Объем поперечником в 300 миллионов световых лет, начиная с которого распределение галактик представляется в среднем равномерным в пространстве мира, называют ячейкой однородности во Вселенной. Такого рода подсчеты позволяют определить среднюю плотность вещества во Вселенной. Для этого нужно знать массу вещества в ячейке однородности. Эта масса есть сумма масс всех галактик в этом объеме.

Конечно, измерить массу каждой отдельной галактики в данном объеме невозможно. Но, зная число звезд и массу звезд

в типичной галактике, такую оценку все же можно сделать. В результате получается, что в среднем на каждые десять кубических метров пространства мира приходится один (!) атом водорода.

Если выразить эту величину в единицах плотности массы, то окажется, что она составляет приблизительно 10^{-31} г/см³. Эта немыслимо малая плотность гораздо меньше, чем остаточная плотность газа в лучших лабораторных вакуумных установках. Такова средняя плотность светящегося вещества звезд, если мысленно «размазать» его равномерно по объему ячейки однородности. Так как масса темных гало галактик раз в десять больше массы их звезд, то тем же путем получим среднюю плотность темного вещества в мире на уровне 10^{-30} г/см³.

Однородность распределения галактик означает, что ни одна из них не является центром мира. Или, что то же самое, каждая из них могла бы считаться центром мира. А это значит, что никакого центра в мире нет.

Современным наблюдениям доступен объем мира с радиусом в десять миллиардов световых лет. И мы находимся именно в центре этого сферического объема только потому, что дальность действия телескопов не зависит от направления в пространстве. Но наше собственное положение во Вселенной никак не выделено. Вселенная выглядит одинаково из любой точки пространства, и любой наблюдатель видит ее такой же, какой видим ее мы.

Если в Солнечной системе не Земля занимает центральное место, а в Галактике не Солнце находится в ее центре, то в мире Хаббла центра нет вообще. Так принцип Коперника оказался распространенным на весь наблюдаемый ныне огромный мир.

Удивительно, но об однородности мира в целом рассуждали задолго до того, как для этого появились наблюдательные основания. Наглядный образ однородности мира можно найти у Паскаля. Он говорил, что мир это шар, поверхность которого нигде, а центр везде.

Еще и за тысячу лет до Паскаля рассуждали о сфере без границ и с центром в любой точке. Эту метафору толковали и как

модель умопостигаемого мира и как образ Бога Вседержителя мира. Применительно к Вселенной эти рассуждения питались явными или неявными предположениями о максимальной простоте природы.

Этой давней традиции следовали уже в XX веке Эйнштейн, а за ним и Александр Александрович Фридман, создатель теории космологического расширения. Они строили модели Вселенной, в которых трехмерное пространство является однородным. При этом первая космологическая работа Эйнштейна (1917 г.) и работы Фридмана (1922–24 гг.) были сделаны еще до открытий Хаббла.

Итак, если отвлечься от таких деталей и подробностей, как галактики, их скопления и сверхскопления, и взглянуть на Вселенную шире, охватив мысленным взглядом сразу все множество космических структур, то она предстанет перед нами всюду одинаковой — «сплошной» и однородной. Осознание Вселенной как однородного мира галактик — решительный шаг в науке, по значению вполне сопоставимый с Коперниковской революцией.

Мир в динамике

Хаббл принадлежит и другое, не менее значительное открытие. Наблюдая галактики вокруг нас, он обнаружил в 1927–29 гг., что звездные системы не стоят на месте, а движутся и притом все (кроме самых близких, таких как Туманность Андромеды) удаляются от нас и друг от друга.

Разбегание галактик было найдено по спектрам принимаемого от галактик света. Оказалось, что спектральные линии сдвинуты в сторону больших длин волн, то есть в сторону красного участка спектра. Это ныне знаменитое космологическое «красное смещение».

Такой сдвиг спектральных линий возникает всегда, когда расстояние между источником и приемником света возрастает, — это эффект Доплера, хорошо изученный в физике и использовавшийся в астрономии еще и до Хаббла для измерения скоростей небесных тел.

Это открытие означало, что мир галактик находится в состоянии общего расширения. Расширение прослеживается сейчас до расстояний около десяти миллиардов световых лет. Это самое грандиозное по пространственному масштабу явление природы. О нем говорят, как о расширении Вселенной.

Этот космический феномен был предсказан в теории Фридмана, созданной за несколько лет до открытия Хаббла, в 1922—24 гг. Из теории Фридмана следовало, что мир галактик существует не вечно, он возник приблизительно десять миллиардов лет назад. Это возраст мира, который в целом старше каждой из звезд или галактик, это самый длительный промежуток времени, реально измеренный в современной науке.

Конечно, не случайно пространственный размер наблюдаемого мира галактик представляет собой возраст мира, умноженный на скорость света. Раз мир существует десять миллиардов лет, лучи света, которые мы принимаем, не могли быть испущены раньше, чем десять миллиардов лет назад. Они могли пройти за это время путь не больше десяти миллиардов световых лет. Глядя на самые далекие из доступных наблюдениям источники света — гигантские галактики и квазары, мы видим, таким образом, Вселенную, какой она была около десяти миллиардов лет назад.

Можно сказать, что мир галактик, наблюдаемый с помощью современных телескопов, предстает перед нами не только в пространстве, но и во времени. Мы реально видим «четырёхмерный куб» мира, три измерения которого составляют максимальные пространственные расстояния, а четвертым измерением служит возраст мира.

Канун третьей революции в астрономии?

Но какой будет следующая, третья революция в астрономии? И когда она произойдет? По-настоящему крупные перевороты в науке невозможно предвидеть заранее.

Однако в последние годы все более и более зреет ощущение, что мы стоим на пороге новых очень значительных, поистине революционных перемен.

Поразителен, прежде всего, быстро растущий арсенал астрономической техники. Если в распоряжении Хаббла был телескоп диаметром два с половиной метра, то уже почти три десятка лет действует шестиметровый телескоп (на Северном Кавказе), а недавно введены в строй два телескопа диаметром десять метров (на Гавайях) и несколько телескопов диаметром восемь метров.

На стадии конструирования находятся еще гораздо более крупные инструменты. Это телескопы с системой зеркал, а не со сплошным зеркалом. По своей эффективности такие инструменты эквивалентны телескопам с диаметром сплошного зеркала в тридцать и даже сто метров.

Только один процент света, падающего на зеркало телескопа, шел в дело во времена Хаббла. Эффективность современных приемников света на основе приборов с зарядовой связью достигает почти 100%.

Астрономические наблюдения ведутся из космоса. На орбите находится Хаббловский космический телескоп.

Специализированные космические обсерватории наблюдают Вселенную в рентгеновских и гамма-лучах.

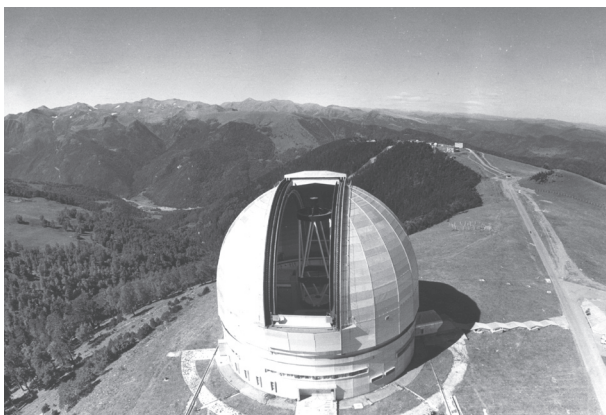


Рис. 1.9. Специальная астрофизическая обсерватория РАН на Северном Кавказе. Находящийся здесь телескоп с диаметром зеркала в 6 метров был построен в 1973 году и до недавнего времени оставался самым крупным в мире.

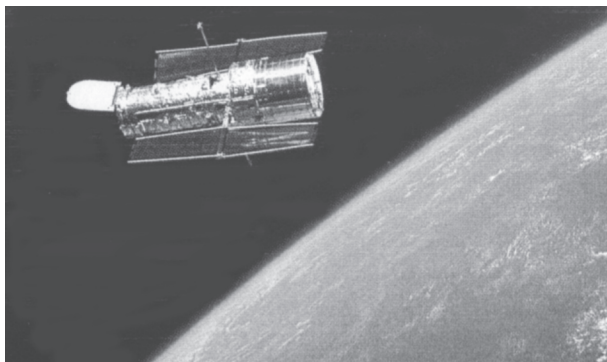


Рис.1.12. Космический телескоп имени Хаббла с диаметром зеркала 2,4 метра. Крайняя левая деталь — открытая крышка телескопа.

Астрономия поистине стала всеволновой, как говорил об этом И.С. Шкловский. Наблюдениям доступен не только видимый свет, но также ультрафиолетовое и инфракрасное излучение небесных тел. Весь огромный диапазон принимаемых сейчас электромагнитных волн простирается от радиоволн до гамма-лучей. Рекордно жесткие гамма-лучи имеют энергию до нескольких эрг (~ 1 ТэВ). В наблюдениях космических лучей, то есть потоков не волн, а частиц из космоса, регистрируются энергии, которые еще в миллиард раз выше. Важнейшие сведения о мире несут нейтрино, испускаемые Солнцем и при вспышках сверхновых звезд. Недавно (2002 г.) достижения наблюдателей в астрофизике высоких энергий и в нейтринной астрофизике отмечены Нобелевской премией.

В астрономии стремительно накапливается «критическая масса» новых инструментов немислимой ранее мощности и новых теоретических идей. В невиданном ранее темпе возникают все новые проблемы, одна острее и грандиознее другой. Об этом и пойдет речь далее в нашей книге.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	6
Глава 1. АСТРОНОМИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА	9
Истоки астрономии	9
Мир Аристотеля	10
Система Птолемея	10
Коперниковская революция: гелиоцентрическая Вселенная	13
Мир звезд	17
Гипотеза Бруно	18
Млечный Путь — наша Галактика	20
Хаббл и вторая революция в астрономии: Вселенная — мир галактик	21
Мир в динамике	25
Канун третьей революции в астрономии?	26
Глава 2. ЖИЗНЬ ВО ВСЕЛЕННОЙ	29
От романтической — к реалистической постановке задачи.....	29
Оптимистические надежды.....	30
Разочарования	31
Энтузиазм неиссякаем	35
Три типа цивилизаций	37
Где и как искать?.....	38
Поиски братьев по разуму	39
Поговорим о жизни	42
Молекулярные механизмы	43

Открытие Уотсона и Крика.....	45
Генетический код.....	46
Репликация ДНК.....	47
Открытие рибозимов.....	48
Восстановление генетических повреждений.....	49
О механизмах зарождения жизни.....	50
Гипотеза панспермии.....	51
О происхождении генетического кода.....	53
Естественный отбор.....	54
Родословные деревья живых организмов.....	56
Программа «Геном человека».....	56
Система органического мира на Земле.....	58
Разум и человек.....	61
Эволюционный характер разума.....	62
Цивилизация.....	63
Планеты во Вселенной.....	65
Что такое планеты.....	66
Как искать планеты вокруг звезд.....	68
Планеты вокруг нейтронных звезд.....	71
О происхождении планет вокруг нейтронных звезд.....	73
Планеты вокруг звезд солнечного типа (экзопланеты).....	74
Свойства экзопланет.....	77
Новейшие открытия.....	79
Как победить молчание Космоса.....	82
Проект «Дарвин».....	84
Концепция проекта.....	85
Спектры атмосфер планет.....	88
Фотосинтез.....	89
Реалистическая постановка задачи поиска внеземной жизни.....	91
Есть ли жизнь на Марсе, нет ли жизни на Марсе.....	93
Марс.....	94
Венера.....	98
Другие планеты Солнечной системы.....	100
Спутники планет.....	101
Ио.....	101
Европа.....	102

Глава 3. ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ ВО ВСЕЛЕННОЙ	105
Надежды, разочарования, успехи	105
Ранние представления	105
Современные представления	108
Решение Шварцшильда	113
Скептицизм усиливается	115
Скептицизм сменяется энтузиазмом	117
Открытие Хоукинга	118
Предсказание Зельдовича и Салпитера	119
Как отличить черную дыру от нейтронной звезды?	120
Открытие источника Лебедь X-1	123
Снова пессимизм	125
Долгожданный успех	126
Как образуются черные дыры	129
Эволюция звезд	130
Белые карлики	132
Нейтронные звезды	134
Черные дыры	136
Как искать черные дыры	139
Черные дыры —	
объекты астрономических наблюдений	140
Определение масс черных дыр в ядрах галактик	142
Определение масс черных дыр	
в рентгеновских двойных системах	143
Об определении радиусов черных дыр	145
Сверхмассивные черные дыры	
в ядрах активных галактик	148
Массы сверхмассивных черных дыр	
в ядрах «нормальных» галактик	150
Сверхмассивная черная дыра в ядре нашей Галактики	154
Новейшие данные по звездным черным дырам	159
Демография черных дыр	163
Сверхмассивные черные дыры	164
Звездные черные дыры	166
Накануне окончательного открытия	170
История исследований звезд	171
Критические эксперименты для черных дыр	174

Возможны ли путешествия во времени?	181
О центральной сингулярности	181
О путешествиях во времени	182
Удивительные свойства черной дыры	185
О машине времени	186
Глава 4. БОЛЬШОЙ ВЗРЫВ	190
Разбегание галактик	190
Наука о Вселенной	190
Краткая история космологии	191
Симметрии Вселенной	194
Статический мир?	195
«Извилистый путь»	197
Теория Фридмана	200
В пространстве Лобачевского	202
Возраст мира	204
Эйнштейн: «новый свет»	206
Динамика расширения	207
Что расширяется?	209
Слайфер и туманности	211
Закон Хаббла	211
Постоянная Хаббла	215
Горячее начало	217
Космический ядерный реактор	220
Синтез гелия	221
Реликтовое излучение	223
Мировой эфир	225
Всемирное антитяготение	228
Гипотеза Эйнштейна	228
Открытие	230
Почему анти-?	234
Ускоренное расширение	236
Еще немного математики	237
Мир вакуума	241
Модель де Ситтера	243
Галактики в мире вакуума	243
Проблема плоскостности	244
Топология Вселенной	248

Загадка Хаббла	250
Вакуум вблизи нас	252
Вакуум и общее движение местного объема	256
Темное вещество	258
Барионы	260
Излучение	263
Вакуум в физике	264
Планковская плотность	266
Соотношение неопределенностей	267
Квантовый осциллятор	268
Нулевые колебания	270
Море Дирака	271
Два эффекта	272
Рождение Вселенной	274
«Прометеева стихия»	274
Космологическая сингулярность	275
Гипотеза Глинера	279
Инфляция	280
Рождение миров	284
Почему 3 + 1?	288
Дополнительные измерения	290
Истинно фундаментальные константы?	293
Вакуум и дополнительные измерения	296
Постоянны ли постоянные?	298
Антропный принцип	301
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ	305