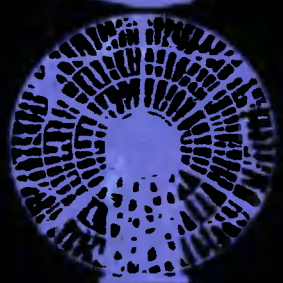
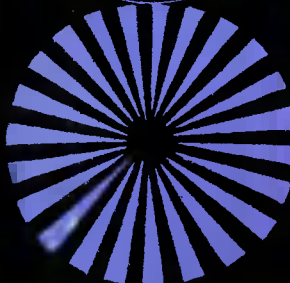
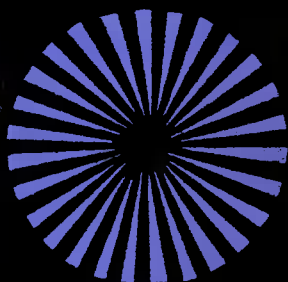
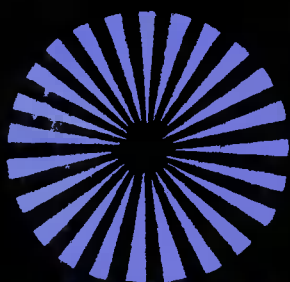


А. АЗИМОВ

# ВСЕЛЕННАЯ



?

**THE UNIVERSE**  
FROM FLAT EARTH TO QUASAR

by  
**Isaac Asimov**

WALKER AND COMPANY  
NEW YORK 1966

**А. Азимов**

# **ВСЕЛЕННАЯ**

**ОТ ПЛОСКОЙ ЗЕМЛИ ДО КВАЗАРОВ**

*Перевод с английского  
П. С. Гурова*

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»  
МОСКВА 1969**

Имя выдающегося американского фантаста и популяризатора Айзека Азимова хорошо известно советскому читателю

В этой книге автор описывает шаг за шагом путь человечества к познанию окружающего его мира от маленького кусочка плоской Земли, которым исчерпывался когда то мир людей, до гигантской пульсирующей Вселенной Автор вводит читателя в мир планет и звезд, светлых и темных туманностей, чудовищно плотных белых карликов, удивительных квазаров, разбегающихся галактик и космических лучей, заполняющих все известное пространство

Увлекательное повествование, умение рассказать о сложных проблемах физики и астрономии понятными для неподготовленного читателя словами — все это, несомненно, привлечет к новой книге А. Азимова внимание читателей

*Редакция космических исследований, астрономии  
и геофизики*

## От редакции

Автора этой книги, выдающегося американского фантаста и популяризатора Айзека Азимова, нет нужды представлять советскому читателю — он его достаточно хорошо знает. В новой книге Азимов обращается к одному из вечных вопросов науки — что такое Вселенная, каково ее прошлое и будущее, можно ли составить представление о ее масштабах в пространстве? Что заставило человечество, над которым сияют те же звезды, что и много тысяч лет назад, перейти от представления о плоском куске суши, охватываемом хрустальным сводом со светильниками-звездами, к пониманию того, что звезды — это далекие солнца, что нас окружают миллионы и миллионы гигантских звездных систем, свет от которых приходит к нам за промежутки времени, измеряемые миллиардами лет, и что вся эта система находится в состоянии расширения — самого грандиозного явления природы, которое мы знаем?

А. Азимов проходит вместе с читателем путь от плоской Земли до квазаров, знакомя читателей с тем, как пытливая человеческая мысль сумела измерить расстояния до звезд, определить размеры галактик, выявить источники звездной энергии и узнать возраст небесных тел. Педагогический такт автора позволяет даже неискушенному читателю не прибегать к дополнительной литературе — все, о чем идет речь в книге, умело разъяснено и наглядно иллюстрировано доступными примерами. В то же время читателю не отводится роль пассивного зрителя, он как бы принимает активное участие в поисках истины и, закрыв книгу, говорит себе да, расстояния до звезд должны измеряться световыми годами, да, источником энергии большинства звезд должны быть ядерные реакции превращения водорода в гелий, да, возраст планет солнечной системы должен исчисляться миллиардами лет — и никак не меньше!

Автор, биохимик по образованию, хорошо знает астрономическую литературу, в том числе новейшую, поэтому понадобилось лишь несколько примечаний, дополняющих или разъясняющих отдельные положения книги. А. Азимов отдает должное русским и советским ученым, и лишь два имени не упомянуты им: Александр Александрович Фридман, теоретически предсказавший «разбегание галактик», и Отто Юльевич Шмидт, много и плодотворно работавший в области космогонии солнечной системы.

Возможно, прочитав эту увлекательную книгу, читатель захочет обратиться к специальным или более серьезным работам. В таком случае ему можно рекомендовать превосходную статью акад. В. Л. Гинзбурга в № 1—3 журнала «Наука и жизнь» за 1968 г и книги Ф. Хойла «Галактики, ядра, квазары» и Г. Альвена «Миры и антимирры. Космология и антиматерия», выпущенные издательством «Мир» в 1968 г. Если же читателя всерьез увлекут проблемы космологии, то ему стоит обратиться к книге акад. Я. Б. Зельдовича и И. Д. Новикова «Релятивистская астрофизика» (издательство «Наука», 1968) или сборнику «Гравитация и относительность» под редакцией Цзю и Гоффмана (издательство «Мир», 1965).

*Фреду Хойлу и Карлу Сагану,  
которые разбираются в этих  
вопросах гораздо лучше меня.*





# Глава 1

## Земля

### *Введение*

За последние годы астрономы сделали в невообразимых глубинах космоса немало открытий, когорые поразили не только широкую публику, но и их самих.

Такие выражения, как «квазары» (quasi-stellar objects, т. е. звездоподобные объекты) или ГЗО (голубые звездоподобные объекты), выносятся в заголовки газетных статей. Светящиеся точки, расположенные в миллиардах миллиардов километров от нас, наводят ученых на размышления о далеком прошлом и далеком будущем Вселенной.

Бесконечна ли Вселенная или у нее где-то есть конец? Быть может, она то расширяется, то сжимается, подобно аккордеону, причем каждое такое движение длится миллиарды лет? Или она взорвалась когда-то один-единственный раз и ее осколки будут разлетаться все дальше и дальше друг от друга, пока наш осколок не останется совершенно одиноким в своей вселенной? Или же Вселенная непрерывно обновляет сама себя, оставаясь извечной, нерожденной и бессмертной?

Нашему поколению повезло — мы живем в тот период развития астрономии, когда ответы на все эти и на многие другие столь же волнующие вопросы, кажется, вот-вот будут найдены.

Такое положение возникло совершенно внезапно. Небесные тела и астрономические явления, открывающие перед астрономами небывалые перспективы, до 60-х годов нашего века были еще неизвестны. Ракеты и искусственные спутники, благодаря которым астрономы получают теперь столько новых сведений, взвились в небо только в 50-х годах. Радиотелескопы, обнаружившие са-

мые неожиданные чудеса, появились лишь в 40-х годах.

Собственно говоря, если бы мы вернулись на какие-нибудь 2500 лет назад, примерно в 600 г. до н. э., то обнаружили бы, что вся известная человеку Вселенная сводится к клочку плоской Земли — и притом к весьма небольшому клочку.

И в наши дни непосредственному восприятию человека доступно только то же самое — маленький клочок плоской Земли и, разумеется, небосвод над головой с маленькими светящимися точками и кружками. И небосвод этот кажется совсем близким.

Какой же ход логических рассуждений заставил эти видимые нами тесные пределы раздвигаться все больше, и больше, и больше, теряясь в неизмеримой дали, так что теперь человеческий разум не в силах ни объять Вселенную, о которой мы говорим, ни представить, насколько ничтожно по сравнению с ней все то, что нас окружает?

В этой книге я хочу проследить, как постепенно расширялось и углублялось представление человека о Вселенной как о едином целом (космология) и о ее происхождении и развитии (космогония).

## *Плоская Земля*

Незадолго до 600 г. до н. э. пала ассирийская империя. В период своего наивысшего расцвета она простиралась от Египта до Вавилона на 2200 км. На смену ей пришла персидская империя, простиравшаяся от Киренаики на Средиземном море до Кашмира в Индии — уже на 5000 км.

Несомненно, простые люди, обитавшие в пределах этих царств, имели лишь весьма смутное представление об их размерах и всю свою жизнь, от рождения до смерти, проводили в родной деревне, изредка посещая соседние селения. Но купцы и солдаты, наверное, лучше представляли себе огромную протяженность своих стран и еще более огромные пространства, лежавшие за их границами.

И в этих древних государствах кто-то, конечно, зани-

мался первой космологической проблемой, с которой столкнулись люди: есть ли у Земли конец?

Разумеется, в те давние времена ни одному человеку, как бы далеко он ни забирался, не удалось увидеть никакого настоящего конца Земли. В лучшем случае он достигал берегов уходящего за горизонт океана. И даже сядя на корабль и отправляясь в даль, скрывавшуюся за горизонтом, он не находил там конца Земли.

Но означало ли это, что такого конца нет?

Ответ на этот вопрос зависел от того, какая форма приписывалась Земле.

До греков Землю всегда считали плоской — такой, какой она представляется человеческому глазу, если не считать некоторых неровностей на ее поверхности, т. е. гор и долин. Если кто-нибудь из древних догреческих мыслителей и думал иначе, ни его имя, ни его предположения до нас не дошли.

Однако если Земля действительно была плоской, то из этого неизбежно следовало, что у нее должен быть конец. Иначе получалось бы, что эта плоская поверхность тянется все дальше и дальше, простираясь в бесконечность. А бесконечность — весьма неудобное понятие. На протяжении всей своей истории люди старались избегать представления о бесконечности пространства и времени, ибо это было нечто не поддающееся логическому осмыслению, не укладывающееся в рамки сознания.

Но и предположение, что Земля имеет конец, что она конечна, порождало свои трудности. Не упадет ли с нее неосторожный человек, если слишком близко подойдет к ее краю?

Само собой разумеется, если суша со всех сторон окружена океаном, то до конца Земли можно добраться, только сев на корабль и добровольно отправившись туда, откуда не видно берега — совершенно не видно берега. Собственно говоря, даже во времена Колумба многие моряки боялись именно потерять из виду берег.

Однако представление о водном поясе, окружающем сушу, порождало новые опасения. Что может помешать океану вылиться в пропасть, оставив Землю без воды?

Одним из возможных выходов было предположение, что небо — это мощный щит, каким оно и кажется с ви-

ду<sup>1)</sup>, плотно примыкающий со всех сторон к Земле, как это и представляется глазу. Таким образом, вся Вселенная приобретала сходство с ящиком: небо было изогнутой крышкой и боковыми стенками, а плоское дно состояло из моря и суши, где обитали человек и все живые существа.

Каковы же были форма и размеры такой «ящичной Вселенной»?

Многим она представлялась прямоугольной плитой. Благодаря некоторым географическим и историческим случайностям первые цивилизации на Ниле, в Двуречье и на Инде имели более четкие границы с остальным миром на западе и на востоке, чем на севере и на юге. К тому же и Средиземное море вытянуто с запада на восток. Вот почему область смутных географических познаний людей этих ранних цивилизаций легче расширялась на запад и на восток, чем на север и на юг. А потому вполне логично было предположить, что «ящичная Вселенная» гораздо больше вытянута с востока на запад, чем с севера на юг.

Впрочем, у греков чувство геометрических пропорций и симметрии было, по-видимому, развито лучше. Они представляли себе Землю в виде круглой плиты — естественно, с Грецией в центре. Большую часть плиты составляла суша, окруженная кольцом воды («рекой Океаном»), от которого ответвлялось к центру Средиземное море.

Примерно в 500 г. до н. э. первый греческий ученый-географ Гекатей Милетский (годы его жизни неизвестны) предполагал, что диаметр этой круглой плиты может достигать самое большее 8000 км. Таким образом, площадь плоской Земли составляла, по его мнению, приблизительно 50 000 000 кв. км. Подобная цифра, несомненно, казалась людям эпохи Гекатея вполне достаточной и даже колоссальной, хотя на самом деле поверхность Земли вдесятеро больше.

Но каковы бы ни были форма и размеры этой «ящичной Вселенной», оставался еще вопрос: что удерживает

---

<sup>1)</sup> Библейское выражение «твердь» указывает на первобытное представление о небе как о твердом предмете, о твердой субстанции.

ее на месте? Представление о плоской Земле, которое мы сейчас рассматриваем, подразумевало, что «вниз» означает одно-единственное для всего мира направление и что все тяжелые предметы обязательно падают «вниз». Так почему же не падает сама Земля?

Можно было бы предположить, что самый материал, из которого образована Земля, та почва, на которой мы стоим, уходит все вниз и вниз и нигде под нами не кончается. Но это опять приводило к представлению о бесконечности. Чтобы избежать его, люди высказывали предположение, что Земля на чем-то стоит. Индусы, например, ставили Землю на четыре столпа.

Но это не разрешало проблемы, а лишь отодвигало ее. А на чем стоят четыре столпа? На слонах! А слоны? На гигантской черепахе! А черепаха? Черепаха плавает в гигантском океане. А океан...

Короче говоря, представление о плоской Земле, несмотря на все свое внешнее правдоподобие, неизбежно заводило мыслителя в тупик.

## ***Шарообразная Земля***

Впрочем, если человек умел не только смотреть, но и видеть, то идея о плоской Земле начинала казаться ему не такой уж правдоподобной. Ведь если бы Земля и в самом деле была плоской, то из любого места можно было бы видеть над головой одно и то же звездное небо (не считая, может быть, незначительных смещений, вызываемых перспективой). Однако все путешественники по собственному опыту знали, что если ехать на север, то часть звезд скрывается за южным горизонтом, а над северным горизонтом поднимаются новые звезды. При поездке же на юг наблюдается обратная картина. Проще всего это можно было бы объяснить, предположив, что Земля выгибается в направлении с севера на юг. (Обнаружить такое же явление при передвижении на восток или на запад было трудно из-за общего вращения небосвода с востока на запад со скоростью один оборот за двадцать четыре часа.)

Греческий философ Анаксимандр Милетский (611—546 гг. до н. э.) заключил из этого, что люди живут на по-

верхности цилиндра, закругляющегося с севера на юг. Насколько нам известно, он был первым человеком в истории, утверждавшим, что поверхность Земли не плоская, и предположение это было, вероятно, сделано около 550 г. до н. э.

Но и представление о цилиндрической форме Земли оказалось недостаточным. Люди, жившие на берегу моря и имевшие дело с кораблями, знали, что суда, уходя

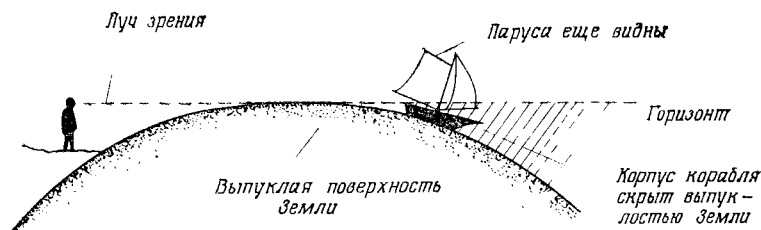


Рис 1 Исчезающий из виду корабль

щие в плавание, не просто делаются все меньше и меньше, сливаясь с далью, как это происходило бы, будь Земля плоской. Нет, они исчезают из виду задолго до того, как превратятся в точку, причем первым скрывается корпус, словно корабль уходит за вершину холма. А именно этого следовало бы ожидать, если бы поверхность Земли была выпуклой. Более того, суда скрывались из виду точно таким же образом, в каком бы направлении они ни плыли. Отсюда следовало, что Земля закругляется не только с севера на юг, но одинаково во все стороны, а единственная поверхность, которая закругляется одинаково во все стороны, — это поверхность шара.

Кроме того, греческие астрономы полагали, что затмение Луны естественнее всего было бы объяснить тем, что Земля оказывается в этот момент как раз между Луной и Солнцем, и тень освещаемой Солнцем Земли падает на Луну, затмевая ее. Поперечное же сечение этой тени всегда было круглым, независимо от того, какое

положение Луна и Солнце занимали относительно Земли. А единственное тело, чья тень, в каком бы направлении она ни отбрасывалась, всегда будет иметь круглое поперечное сечение — это шар.

Таким образом, внимательное наблюдение доказывало, что поверхность Земли не плоская, а шарообразная. Плоской же она представлялась только потому, что шар этот огромен и изгиб той ничтожной его части, которую мы непосредственно видим, слишком мал, чтобы быть заметным.

Насколько нам известно, первым, кто предположил, что Земля — это шар, был греческий философ Филолай из Тарента (480—? до н. э.), который выдвинул эту идею примерно в 450 г. до н. э.

Понятие о Земле как о шаре раз и навсегда разрешило вопрос о крае Земли, и при этом не пришлось прибегать к идее бесконечности. Поверхность шара имеет конечные размеры, но не имеет конца; она конечна, но не имеет границ.

Примерно через 100 лет после Филолая греческий философ Аристотель из Стагиры (384—322 гг. до н. э.) обобщил представления, связанные с шарообразной формой Земли.

Понятие «вниз» становится не абсолютным, а относительным. Если бы слово «вниз» означало одно-единственное направление, о котором мы думаем, указывая себе под ноги, то Земля-шар должна была бы вечно падать вниз — во всяком случае, до тех пор, пока не уперлась бы в какое-то другое тело, уходящее вниз бесконечно.

Но попробуем определить «вниз» только как направление к центру Земли. Когда мы говорим, что предметы естественно «падают вниз», то мы подразумеваем, что они естественно падают по направлению к центру Земли. В этом случае ничто не может упасть с Земли, а у людей, находящихся на противоположной стороне шара, вовсе нет ощущения, что они стоят вниз головой.

Сама Земля также не может упасть, ибо каждая составляющая ее часть уже упала, насколько могла, и приблизилась к центру Земли, насколько это оказалось для нее возможным. Собственно говоря, потому-то Земля и не может не быть шаром, ведь шар обладает тем

свойством, что сумма расстояний всех его частей от центра меньше, чем частей любого другого тела, имеющего такие же размеры, но иную форму.

Таким образом, мы можем сказать, что к 350 г. до н. э. было твердо установлено, что Земля — шар. И с тех пор это представление было принято повсеместно среди образованных людей западных цивилизаций.

Оно настолько отвечало всем требованиям логики и было настолько свободно от внутренних противоречий, что люди принимали его, даже несмотря на отсутствие прямых доказательств. Ведь только в 1522 г. н. э., через 1800 лет после Аристотеля, когда единственный уцелевший корабль экспедиции, возглавлявшейся вначале португальским мореплавателем Фернаном Магелланом (1480—1521), вернулся в родной порт, только тогда было завершено первое в истории человечества кругосветное плавание, которое практически доказало, что Земля не может быть плоской.

В наши дни шарообразность Земли доказана наглядным образом. В конце 40-х годов при помощи ракет были сделаны снимки больших участков поверхности Земли с такой высоты, что на них ясно заметна ее кривизна <sup>1)</sup>.

## **Размеры Земли**

Когда было доказано, что Земля — шар, особое значение приобрел вопрос о ее величине. Установить размеры плоской конечной Земли было бы очень трудно: для этого потребовалось бы непосредственно измерить ее длину и ширину. Но на шарообразной Земле можно наблюдать явления, масштабы которых находятся в прямой зависимости от ее величины.

Например, если бы размеры земного шара были колоссальны, то признаки его шарообразности были бы почти неуловимо малы. Вид звездного неба при передвижении на несколько сотен километров на север или на юг практически не изменялся бы; корабли успевали бы

---

<sup>1)</sup> Разумеется, Земля — не совсем правильный шар, однако отклонения слишком малы, чтобы их можно заметить на глаз. Наблюдателю из космоса Земля покажется совершенно правильным шаром.



исчезнуть из виду прежде, чем скрылся бы за горизонтом их корпус; граница земной тени на Луне казалась бы прямой линией — настолько мала была бы ее кривизна.

Следовательно, раз признаки шарообразности Земли легко заметить, это означает не только то, что Земля — шар, но и то, что размеры ее не очень велики; ее можно назвать большой, но не колоссальной.

И все же, как можно было точно измерить эту величину? Греческие географы смогли установить нижний предел. К 250 г. до н. э. они твердо знали, что западнее Гибралтарского пролива существует какая-то земля и что на восток суша простирается до Индии — это давало протяженность в 10 000 км (что намного превышало примерную цифру, которую Гекатей за два с половиной века до этого считал предельной). Но и на таком расстоянии поверхность Земли еще не замыкалась, отсюда следовало, что окружность Земли превышает 10 000 км, но насколько — никто сказать не мог.

Первым, кто предложил основанный на наблюдениях ответ, был греческий ученый Эратосфен из Кирены (276—196 гг. до н. э.). Он знал, что во время летнего солнцестояния 21 июня, когда полуденное Солнце выше всего поднимается над горизонтом, оно стоит прямо в зените над египетским городом Сиеной (нынешний Асуан). Это доказывалось тем, что палка, вертикально воткнутая в землю, в этот день не давала там тени. Но палка, вертикально воткнутая в землю в Александрии, на 800 км севернее Сиены, в тот же день отбрасывала коротенькую тень, которая показывала, что полуденное Солнце находится на семь с лишним градусов южнее зенита.

Будь Земля плоской, Солнце и в Александрии, и в Сиене одновременно стояло бы в зените. Одно то, что это было не так, уже доказывало, что поверхность Земли между этими двумя городами искривлена. Палка, вертикально воткнутая в землю в одном из них, оказывалась направленной под углом к палке, воткнутой вертикально в другом. Одна из них указывала прямо на Солнце, а другая — нет.

Чем больше кривизна поверхности Земли, тем больше должны быть угол между палками и разница в длине

тени. Эратосфен тщательно подкрепил свои расчеты геометрическими построениями, но мы можем просто сказать, что поскольку разница примерно в  $7^\circ$  соответствует 800 км, то разница в  $360^\circ$  (или полный оборот по окружности) будет соответствовать пропорционально 40 000 км.

Если окружность шара известна, то известен и его диаметр, так как диаметр любой окружности равен ее длине, деленной на число  $\pi$ , равное примерно 3,14. И Эратосфен пришел к выводу, что окружность Земли составляет примерно 40 000 км, а ее диаметр равен приблизительно 12 800 км.

Площадь поверхности такого шара равна примерно 500 000 000 кв. км, т. е. в шесть раз больше того мира, который был известен древним. Шар Эратосфена, по-видимому, оказался для греков чрезмерно большим, и когда позднее другие астрономы повторили его наблюдения и получили меньшие цифры (окружность 29 000 км, диаметр 9 200 км, площадь 250 000 000 кв. км), то именно эти цифры и были охотно приняты. Тех же значений придерживались и в Средневековье, и Колумб ссылаясь на них, доказывая, что западный путь из Испании в Азию должен быть вполне доступен для судов его времени. На самом же деле это было далеко не так, и его плавание увенчалось успехом только потому, что в том месте, где он ожидал найти Азию, находилась Америка.

Лишь в 1522 г., когда единственный уцелевший корабль флотилии Магеллана вернулся на родину, были окончательно определены истинные размеры Земли и репутация Эратосфена была восстановлена.

Более поздние измерения дали для окружности Земли по экватору цифру 40 075,7 км. Величина диаметра Земли в разных направлениях несколько различается, так как Земля — не совсем правильный шар, но его средняя длина составляет 12 742,44 км. Площадь поверхности Земли равна 510 083 000 кв. км.

## Глава 2

# Солнечная система

### Луна

Если бы Земля составляла всю Вселенную, греки разрешили бы основную проблему космологии еще 2000 лет назад. Но Вселенная отнюдь не исчерпывается Землей, и греки это прекрасно знали. Имелось еще и небо.

Пока Землю считали плоской, можно было предполагать, что небо — это твердый купол, со всех сторон смыкающийся с плоской Землей. И высота замыкаемого им пространства вовсе не должна быть огромной — пятнадцати километров вполне хватило бы, чтобы вместить самые высокие горы и облака.

Но если Земля имеет сферическую форму, то и небо должно быть еще большей полой сферой, вмещающей в себя земной шар. Именно эта небесная сфера и ограничивала Вселенную, и поэтому было бы очень интересно узнать ее размеры.

Исходя из результатов какого-либо отдельного случайного наблюдения, можно было предполагать, что небесная сфера окружает шарообразную Землю и отстоит от нее в любом месте не более чем на 15 км. И если диаметр Земли равнялся 12 800 км, то диаметр небесной сферы мог составлять 12 830 км.

Однако мы не станем удовлетворяться случайным наблюдением, как, несомненно, не удовлетворялись им греки, а до них вавилоняне и египтяне.

Нам кажется, что небесная сфера каждые 24 часа совершает один полный оборот вокруг Земли. При этом она увлекает за собой звезды — все разом. Другими словами, звезды не меняют своего расположения относительно друг друга, а остаются неподвижно на своем

месте из года в год и из века в век (отсюда и возникло выражение «неподвижные звезды»). Поэтому естественно было верить, что звезды прикреплены к небесному своду, точно множество светящихся булавоочных головок, и такое мнение действительно было общепринятым вплоть до XVII в.

Однако еще первобытный человек должен был заметить, что некоторые небесные светила движутся среди звезд — такое светило находится то возле одной звезды, то, спустя некоторое время, возле другой. Следовательно, эти светила не могли быть прикреплены к небесному своду и находились к Земле ближе, чем само небо.

В древности было известно семь таких небесных тел, называвшихся (в порядке их яркости) так Солнце<sup>1)</sup>, Луна, Венера, Юпитер, Марс, Сатурн и Меркурий. Эти семь небесных тел греки называли «планетес» (скитальцы); по тому что они скитались среди звезд. До нас это слово дошло в форме «планеты».

Оказалось возможным установить, какие планеты находятся ближе к Земле, а какие — дальше от нее. Например, при каждом солнечном затмении Луна проходила между Землей и Солнцем и, следовательно, была ближе к Земле, чем Солнце.

При оценке других расстояний древние исходили из относительной скорости движения планет среди звезд (Мы по опыту знаем, что чем ближе к нам предмет, тем более быстрым кажется его движение. Самолет над самой землей летит с чудовищной скоростью, но стоит ему подняться хотя бы на километр, и он кажется почти неподвижным, хотя на самом деле его скорость может быть даже больше, чем прежде.)

Исходя из относительной скорости движения планет среди звезд, греки решили, что Луна расположена ближе к Земле, чем остальные планеты. Прочие же распо-

---

<sup>1)</sup> Положение Солнца относительно звезд нельзя наблюдать непосредственно. Однако можно заметить, что вид полнотного неба чуть-чуть меняется от ночи к ночи. Отсюда был сделан вывод, что Солнце медленно движется среди звезд, заслоняя каждый день чуть-чуть иной, отличный от прежнего участок неба и оставляя видимым ночью также чуть-чуть иной участок. Чтобы обойти таким образом все небо, Солнцу требуется  $365\frac{1}{4}$  суток.

лагались в порядке увеличения расстояния так: Меркурий, Венера, Солнце, Марс, Юпитер и Сатурн.

Разумеется, в таком случае при определении расстояний от планет до Земли следовало начинать с Луны. Если бы определить это расстояние не удалось, то об определении остальных вообще не могло быть и речи.

Первую серьезную попытку определить расстояние до Луны предпринял греческий астроном Аристарх Самосский (320—250 гг. до н. э.). Он опирался на наблюдения, сделанные во время лунного затмения. Когда тень Земли упала на Луну, по изгибу ее края можно было судить, как велико ее поперечное сечение по сравнению с размерами Луны. Считая, что Солнце находится от Земли гораздо дальше Луны, Аристарх с помощью несложных геометрических построений мог установить, как далеко должна Луна находиться от Земли, чтобы тень Земли уменьшалась до наблюдаемых размеров.

Этот метод был улучшен и дополнен примерно через 100 лет другим греческим астрономом — величайшим астрономом античности Гиппархом из Никеи (190—120 гг. до н. э.).

Гиппарх пришел к выводу, что расстояние от Земли до Луны примерно в 30 раз больше диаметра Земли. Если принять длину диаметра, предложенную Эратосфеном, т. е. 12 800 км, то в этом случае расстояние между Землей и Луной окажется равным 384 000 км.

Это блистательный результат, если учесть тогдашнее состояние астрономии. Наиболее точная современная цифра среднего расстояния между центрами Земли и Луны — 384 395 км. Это средняя цифра, так как Луна движется вокруг Земли не по точному кругу: иногда она ближе к Земле, а иногда дальше. Минимальное расстояние между Луной и Землей (в перигее) равно 363 300 км, а максимальное (в апогее) — 405 500 км.

Зная это расстояние, можно вычислить истинный диаметр Луны, исходя из ее видимых размеров. Он равен 3473,4 км, а окружность Луны, следовательно, составляет 10 900 км. Луна намного меньше Земли, но все же ее размеры весьма внушительны.

После того как было определено расстояние до Луны, с идеей о том, что небо находится почти над самыми на-

шими головами, было покончено навсегда. Оно отодвинулось на колоссальное расстояние, представлявшееся грекам немыслимым. Даже ближайшее небесное тело оказалось почти в 400 000 км от Земли, а все другие, значит, находились от нее еще дальше и, возможно, намного дальше.

А не сделать ли еще одну попытку? Может быть, заняться Солнцем?

Аристарх понял, что в момент, когда Луна находится в первой (или в последней) четверти, она, Солнце и Земля располагаются в вершинах прямоугольного треугольника. Измерив видимый с Земли угол между Луной и Солнцем, можно с помощью простейших тригонометрических расчетов определить соотношение расстояний до Луны и до Солнца. А после этого, если мы знаем расстояние до Луны, можно вычислить и расстояние до Солнца.

К несчастью для Аристарха, без хороших инструментов весьма трудно точно измерять углы между небесными телами, и определить точное время, когда Луна находится в первой четверти, тоже нелегко.

Теория Аристарха математически была безупречна, но его измерения были чуть-чуть неточны, а в результате он получил совершенно неверные результаты. Он вычислил, что Солнце в 20 раз дальше от Земли, чем Луна. Если Луна находилась от Земли в 380 000 км, то расстояние до Солнца получалось чуть меньше 8 000 000 км — во много раз меньше истинного (однако и это послужило дополнительным подтверждением того внезапно обнаруженного факта, что Вселенная огромна).

Итак, мы можем сказать, что к 150 г. до н. э. греки в результате четырех веков тщательнейших астрономических наблюдений правильно определили форму и размеры Земли и расстояние до Луны, но заметно дальше этого они продвинуться не смогли. Они пришли к выводу, что Вселенная представляет собой гигантскую сферу, имеющую в поперечнике по меньшей мере несколько миллионов километров, а в ее центре они помещали систему Земля — Луна, приписывая ей примерно те же размеры, которые приняты нами сегодня.

## Солнце

В течение 1800 лет после Гиппарха представления человека о размерах Вселенной никак не развивались. Способа определить расстояния до других планет, кроме Луны, по-видимому, не существовало, и хотя высказывалось немало различных догадок о расстоянии до Солнца, все они не представляли никакого интереса.

Одна из причин такого отсутствия прогресса после Гиппарха заключалась в том, что созданная греками модель планетной системы имела лишь весьма ограниченную ценность. Гиппарх и его последователи считали Землю центром Вселенной. Луна и другие планеты обращались вокруг Земли (довольно сложным образом), и расположенный за ними небесный свод также обращался вокруг Земли. Система эта подробно изложена и сохранена для потомства в трудах астронома Клавдия Птолемея, который жил в Египте и писал около 130 г. н. э. Он более известен просто как Птолемей, и геоцентрическая система («Земля в центре») часто называется в его честь системой Птолемея.

Эта система позволила астрономам вычислять движение планет относительно фона звезд с точностью, достаточной для практических нужд того времени. Однако она была не настолько верна, чтобы дать астрономам возможность определять расстояния до небесных тел, находящихся дальше Луны.

У Начало созданию новой схемы строения Вселенной положил польский астроном Николай Коперник (1473—1543), который в книге, вышедшей в свет в 1543 г, в самый день его смерти, высказал предположение, что центром Вселенной является не Земля, а Солнце. Согласно этой точке зрения, планетная система была в сущности солнечной системой.

Собственно говоря, то же самое предполагал за 19 веков до Коперника и Аристарх, но тогда эта гипотеза представлялась слишком уж дерзкой и не была принята. Согласно такой гелиоцентрической системе («Гелиос» — по-гречески Солнце), Земля вращается вокруг Солнца, как и все остальные планеты, и вся сплошная каменная масса под ногами человека летит в пространстве, хотя он

этого и не замечает. Планет оказывается шесть, а не семь: Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн и Земля. Солнце же — вовсе не планета, а неподвижный центр. Луна перестает быть планетой в строгом смысле слова, так как и в гелиоцентрической системе она продолжает обращаться вокруг Земли, а не вокруг Солнца. Тело, обращающееся вокруг планеты, позже стало называться «спутник», и Луна — именно такой спутник.

Астрономы начали все шире признавать систему Коперника, так как к этому времени в геоцентрической системе обнаружилось слишком уж много несообразностей. Математические расчеты, с помощью которых при старой системе определялось движение планет, были чрезмерно сложны, а полученные результаты не подтверждались тщательными наблюдениями нового поколения астрономов.

Гелиоцентрическая система давала несколько лучшие результаты и к тому же упрощала расчеты. Но и она не была точной схемой, так как Коперник по-прежнему считал, что орбиты планет представляют собой правильные окружности, что далеко не соответствовало истине.

В 1609 г. была, наконец, предложена верная схема. Немецкий астроном Иоганн Кеплер (1571—1630) проанализировал прекрасные наблюдения положений планеты Марс, которые сделал его учитель, датский астроном Тихо Браге (1546—1601), и в конце концов пришел к выводу, что единственная геометрическая фигура, отвечающая этим наблюдениям, — эллипс<sup>1)</sup>. Кеплер доказал, что Солнце находится в одном из фокусов эллипса, представляющего собой орбиту Марса.

Затем то же самое было установлено и для всех планет, обращающихся вокруг Солнца, и для Луны, обращающейся вокруг Земли. Орбита в каждом случае была эллипсом, и центральное тело всегда находилось в одном из фокусов этого эллипса.

В 1619 г. Кеплер открыл, что между средними расстояниями планет от Солнца и периодами их обращения вокруг Солнца существует простое математическое со-

<sup>1)</sup> Эллипс — это вытянутая окружность с двумя фокусами. Если любую точку эллипса соединить с обоими фокусами, то сумма отрезков этих расстояний всегда будет одна и та же.



отношение. Измерить периоды такого обращения было просто, а сравнивая их, нетрудно было вычислить относительные расстояния от Солнца до каждой из планет.

Короче говоря, теперь уже можно было нарисовать очень точную схему солнечной системы, правильно показав относительные расстояния планетных орбит от

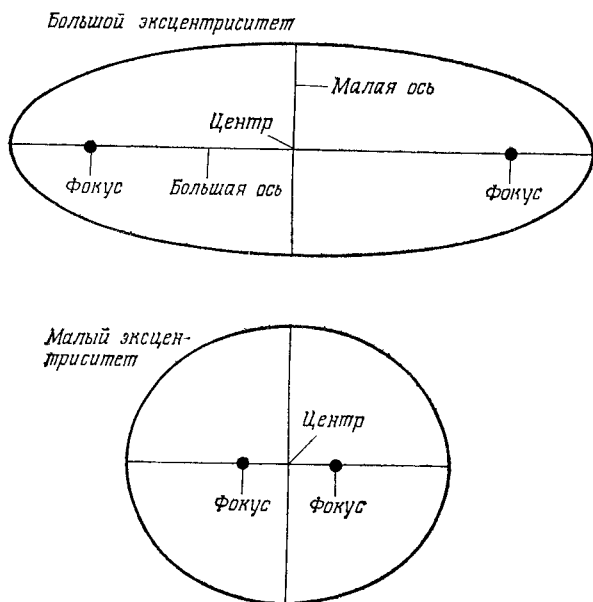


Рис. 2 Эллипс.

Солнца. Однако, сравнивая периоды обращения планет, можно было только утверждать, что такая-то планета вдвое дальше от Солнца, чем такая-то, но указать, чему равно каждое расстояние в километрах, было невозможно. Схема была, но масштабы ее оставались неизвестными. Однако и она давала некоторое представление о размерах солнечной системы, так как показывала, что самая отдаленная из планет, известных грекам (и Кеплеру), — Сатурн — находится почти в 10 раз дальше от Солнца, чем Земля.

Если бы когда-либо удалось определить расстояние между Землей и любой из планет, это дало бы астрономам масштаб. Тогда можно было бы определить расстояния до всех планет. Следовательно, оставалось лишь правильно определить расстояние до одной из планет

### **Параллакс**

Для определения расстояния до какой-нибудь планеты можно было использовать явление, называемое параллаксом. Проще всего его можно продемонстрировать так. поставьте перед глазами палец, чтобы он был виден на каком-нибудь пестром фоне. Не двигая головой, смотрите на палец по очереди сначала одним глазом, а потом другим. Вы увидите, что в тот момент, когда вы закрываете один глаз и открываете другой, палец смещается по отношению к фону. Чем ближе вы поднесете палец к глазам, тем больше будет это смещение.

Это происходит потому, что наши глаза расположены на некотором расстоянии друг от друга, так что прямые линии, проведенные от пальца к глазам, образуют заметный угол. Если продолжить эти прямые до фона, они укажут два разных положения пальца. Чем ближе палец к глазам, тем больше этот угол и тем больше кажущееся смещение. Если бы глаза были расставлены шире, это также увеличило бы угол между прямыми, проведенными к пальцу, и палец сместился бы по фону на большее расстояние. (Фон обычно так далек, что прямые, проведенные из одной какой-нибудь его точки к глазам, образуют угол, слишком маленький, чтобы его можно было измерить. Поэтому фон можно считать неподвижным.)

Тот же самый принцип можно применить и к небесным телам. Луна, разумеется, находится так далеко, что при поочередном наблюдении то одним глазом, то другим она несколько не сместится. Но предположим, что Луну будут одновременно наблюдать на фоне звездного неба астрономы двух обсерваторий, расположенных на расстоянии в несколько сотен километров друг от друга. Первый наблюдатель будет видеть край Луны на определенном угловом расстоянии от какой-то заранее выб-

ранной звезды; второй же наблюдатель будет видеть в ту же минуту тот же край Луны уже на ином угловом расстоянии от той же звезды.

Если известны смещение Луны по отношению к звездному фону (при этом расстояние до звезд предполагается столь большим, что они останутся неподвижными, несмотря на изменение позиции наблюдателя), а также расстояние между обсерваториями, то с помощью несложных тригонометрических формул можно рассчитать расстояние до Луны.

Это вполне осуществимо на практике, потому что кажущееся смещение Луны на фоне звезд при изменении позиции наблюдателя достаточно велико. Астрономы путем ряда наблюдений точно установили это смещение для такого положения, когда один наблюдатель видит Луну на горизонте, а другой — прямо над головой. В этом случае основание треугольника равно радиусу Земли, а угол, в вершине которого находится Луна, — это экваториальный горизонтальный параллакс. Его величина оказалась равной 57,04 минуты дуги, или 0,95 градуса дуги <sup>1)</sup>. Это смещение вполне измеримо — оно равно двум видимым диаметрам полной Луны. Таким образом, оно может быть определено с достаточной точностью для измерения расстояния до Луны. Расстояние это, вычисленное с помощью параллакса, хорошо согласовалось с расстоянием, вычисленным с помощью прежнего метода — по земной тени во время лунного затмения.

К несчастью, планеты находятся от Земли так далеко, что их смещение на фоне звездного неба при наблюдении из двух обсерваторий слишком мало, чтобы его можно было измерить с достаточной точностью при условиях, существовавших около 1600 г.

✓ Но в 1608 г. итальянский ученый Галилео Галилей (1564—1642) изобрел телескоп (возможно, это было повторное изобретение). Телескоп увеличивал малые смещения, связанные с параллаксом. Смещение, слишком малое, чтобы его можно было заметить невооруженным глазом, легко измерялось с помощью телескопа

---

<sup>1)</sup> Один градус ( $1^\circ$ ) равен  $\frac{1}{360}$  доли окружности. В одном градусе содержится 60 минут ( $60'$ ) а в одной минуте — 60 секунд ( $60''$ )

В 1671 г. было произведено первое хорошее телескопическое измерение параллакса планеты. Одним из наблюдателей был Жан Рише (1630—1696), французский

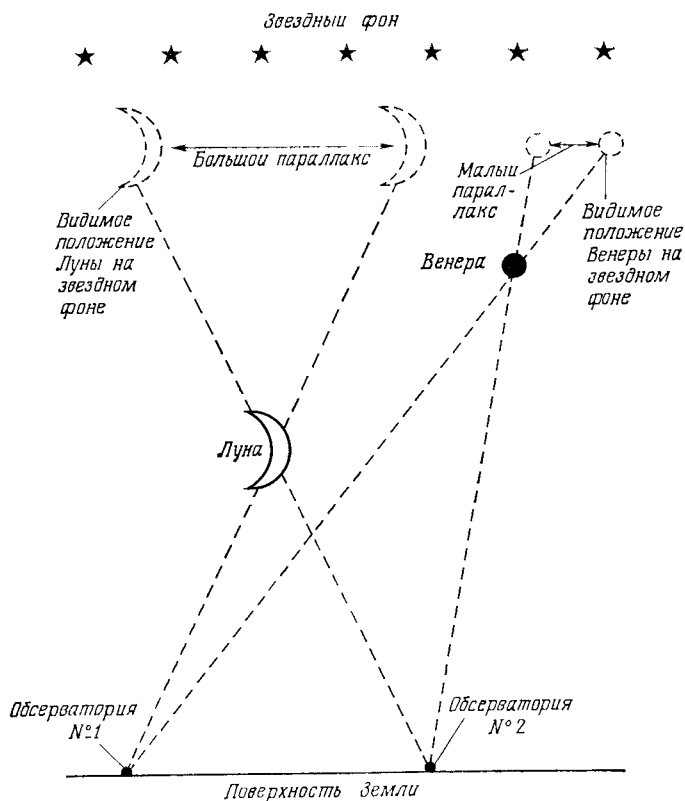


Рис 3 Параллакс

астроном, возглавлявший научную экспедицию во Французскую Гвиану. Вторым — французский астроном, итальянец по национальности, Джованни Доменико Кассини (1625—1712), остававшийся в Париже. Оба они наблюдали Марс настолько одновременно, насколько это оказалось возможным, и точно определили его положе-

ние относительно соседних звезд. Измерив, насколько различается это положение, и зная расстояние от Кайены до Парижа, можно было вычислить расстояние до Марса в момент наблюдения.

Как только это расстояние было определено, кеплеровская модель получила масштаб и стало возможно вычислить все остальные расстояния внутри солнечной системы. В частности, Кассини вычислил, что Солнце находится от Земли на расстоянии 140 000 000 км. Это примерно на 10 миллионов километров меньше, чем на самом деле, но для первой попытки результат был превосходным, и его можно считать первым настоящим определением размеров солнечной системы<sup>1)</sup>.

На протяжении двух веков после смерти Кассини были произведены более точные измерения параллаксов планет. В частности, проводились наблюдения над Венерой, когда она проходила между Землей и Солнцем и ее можно было наблюдать в виде крохотного черного пятнышка, движущегося поперек пылающего солнечного диска.

Такие прохождения имели место, например в 1761 и 1769 гг. Если внимательно наблюдать прохождение на разных обсерваториях, то момент, когда Венера коснется солнечного диска, момент, когда она его покинет, и продолжительность прохождения для разных обсерваторий окажутся различными. Исходя из этой разницы и из расстояния между обсерваториями, можно вычислить параллакс Венеры, с его помощью — расстояние до нее, а отсюда и расстояние до Солнца.

В 1835 г. немецкий астроном Иоганн Франц Энке (1791—1865), используя данные о прохождении Ве-

---

<sup>1)</sup> Параллакс Солнца невозможно сколько-нибудь точно определить непосредственным наблюдением так как для этого астрономам нужно было бы использовать какую-нибудь неподвижную точку на краю или на поверхности Солнца. Однако на его ослепительной поверхности не существует неподвижных точек, и потому крохотный параллакс Солнца (примерно  $8''.8$ , или  $1/400$  параллакса Луны) обнаружить невозможно. Положение планет, которые гораздо меньше и гораздо менее ярки, определяется легче и точнее, и их крошечный параллакс измерить значительно проще. Исходя из полученных при этом данных, расстояние до Солнца можно определить гораздо точнее, чем с помощью любых прямых наблюдений.

неры, вычислил, что расстояние до Солнца равно 152 300 000 км. Это расстояние было больше истинного, но только на 3 000 000 км.

Получить более точные значения было трудно из-за того, что Марс и Венера видны в телескоп как маленькие кружки, а это затрудняло установление точного положения планет. Особенно это касалось Венеры, так как она обладает плотной атмосферой, вызывающей оптические явления, которые мешают определить истинный момент ее соприкосновения с солнечным диском при прохождении.

Затем пришла неожиданная удача. В 1801 г. итальянский астроном Джузеппе Пиацци (1746—1826) открыл маленькую планету, движущуюся по орбите между Марсом и Юпитером. Он назвал ее Церерой диаметр ее оказался менее 800 км. На протяжении XIX в. были открыты сотни таких маленьких планет, орбиты которых также располагались между орбитами Марса и Юпитера. Это так называемые астероиды. В 1898 г. немецкий астроном Карл Густав Витт (1866—1946) открыл Эрос — астероид, орбита которого не лежит целиком в поясе астероидов. Частично она заходит внутрь орбиты Марса и сближается с орбитой Земли.

В 1931 г. Эрос должен был подойти к Земле на расстояние, равное всего лишь  $\frac{2}{3}$  наименьшего расстояния до Венеры — ближайшей из больших планет. Такое сближение обещало необычайно большой и легко измеримый параллакс. Кроме того, Эрос настолько мал (его наибольший поперечник оценивается лишь в 25 км), что у него нет атмосферы, которая делала бы его очертания расплывчатыми, и несмотря на свою относительную близость к Земле, он должен был остаться лишь светящейся точкой. Это означало, что его положение можно будет определить с большой точностью.

Были организованы широкие международные наблюдения. Были изучены тысячи фотографий, и в конце концов с помощью параллакса и положения Эроса было установлено, что Солнце находится от Земли на расстоянии, чуть меньшем 149 600 000 км. Это среднее расстояние, так как Земля движется вокруг Солнца не по кругу, а по эллипсу. При наибольшем сближении с Солнцем

(в перигелии) Земля находится от него на расстоянии 146 250 000 км; при наибольшем удалении (в афелии) — на расстоянии 151 360 000 км.

## **Размеры солнечной системы**

В последние годы было изобретено кое-что лучше парallaxического метода. Были разработаны способы направлять очень короткие радиоволны (микрорадиоволны) того типа, которые используются в радиолокаторах, в космическое пространство, где они отражаются от планет, например от Венеры, после чего эти отраженные волны принимаются на Земле. Скорость распространения радиоволн точно известна, а время между посылкой волн и их приемом также может быть измерено очень точно. Расстояние, покрытое радиоволнами за время путешествия туда и обратно, а следовательно, и расстояние до Венеры в заданный момент можно определить с несравненно большей точностью, чем методом парallaxов.

В 1961 г. было изучено, как отражаются такие микрорадиоволны от Венеры. С помощью полученных данных было вычислено, что среднее расстояние от Земли до Солнца составляет 149 573 000 км.

Используя кеплеровскую схему строения солнечной системы, можно рассчитать расстояния всех планет либо от Земли в какой-то определенный момент, либо от Солнца. Удобнее использовать расстояние от Солнца, так как оно меняется с течением времени значительно меньше и не по таким сложным законам, как расстояние от Земли.

Это расстояние может быть выражено в одной из трех наиболее распространенных единиц.

Во-первых, его можно выражать в миллионах километров. Километр — это наиболее распространенная единица для измерения больших расстояний.

Во-вторых, чтобы избежать таких чисел, как миллионы километров, можно принять, что среднее расстояние от Земли до Солнца равно одной астрономической единице (сокращенно «а. е.»). Тогда можно будет выражать расстояния в а. е., причем 1 а. е. равна 149 500 000 км.

С вполне достаточной точностью можно считать, что 1 а. е. равна 150 000 000 км.

В-третьих, расстояние можно выразить через время, которое потребуется для того, чтобы его преодолел свет (или любое аналогичное излучение, например микро-радиоволны). Скорость света в пустоте равна 299 776 км/сек. Число это можно для удобства округлить до 300 000 км/сек.

Таким образом, расстояние примерно в 300 000 км можно считать равным одной световой секунде (ибо это расстояние, покрываемое светом за одну секунду). Расстояние, в 60 раз большее, или 18 000 000 км, — это одна световая минута, а расстояние, еще в 60 раз большее, т. е. 1 080 000 000 км, — это один световой час. Мы не слишком ошибемся, если будем считать, что световой час равен одному миллиарду километров.

Запомним это, рассмотрим те планеты, которые были известны древним, и приведем таблицу их средних расстояний от Солнца, выраженных в каждой из трех указанных единиц.

Планеты	Среднее расстояние от Солнца		
	млн. км	а. е.	свет часы
Меркурий . . . . .	57,9	0,387	0,0535
Венера , . . . .	108,2	0,723	0,102
Земля , . . . .	149,5	1,000	0,137
Марс . . . . .	227,9	1,524	0,211
Юпитер . . . . .	778,3	5,203	0,722
Сатурн . . . . .	1428,0	9,539	1,321

Итак, уже со времен Кассини было известно, что диаметр солнечной системы, ограниченной орбитой Сатурна, достигает почти 3 миллиардов км. Диаметр воображаемой сферы, включавшей планеты, известные древним грекам, равнялся не миллионам километров, как полагали греки времен Гиппарха, а тысячам миллионов.

Но даже и эта цифра оказалась преуменьшенной. Диаметр планетной системы разом удвоился в 1781 г., когда английский астроном, немец по происхождению,



Вильям Гершель (1738—1822) открыл планету Уран. Затем диаметр опять удвоился в два этапа, когда сначала французский астроном Урбан Жозеф Леверье (1811—1877) открыл в 1846 г. Нептун, затем американский астроном Клайд Уильям Томбо (род. в 1906 г.) — Плутон в 1930 г.

Расстояния этих далеких членов солнечной системы от Солнца приведены ниже.

Планеты	Среднее расстояние от Солнца		
	млн км	а.е.	свет. часы
Уран	2872	19,182	2,63
Нептун	4498	30,058	4,26
Плутон	5910	39,518	5,47

Если мы рассмотрим орбиту Плутона, как ранее орбиту Сатурна, то увидим, что диаметр солнечной систе

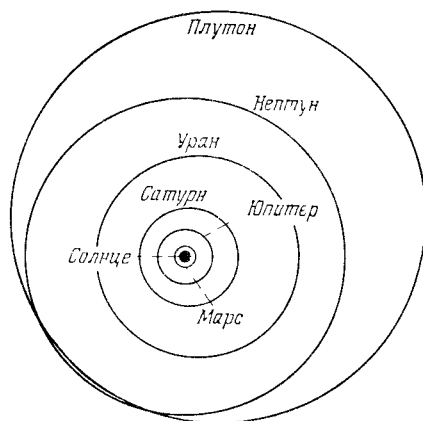


Рис. 4 Размеры солнечной системы

мы равен не 3, а 12 миллиардам километров. Лучу света, который преодолевает расстояние, равное окружности Земли, за  $\frac{1}{7}$  сек и пробегает от Земли до Луны за

$1\frac{1}{4}$  сек, понадобится полдня для того, чтобы пересечь солнечную систему. Да, со времен греков небо действительно отодвинулось в неизмеримую даль.

Кроме того, есть все основания считать, что вовсе не орбита Плутона отмечает границу владений Солнца. Это не значит, что мы должны предполагать существование еще не открытых более далеких планет (хотя отнюдь не исключена возможность, что такие маленькие и очень далекие планеты действительно существуют). Имеются уже известные небесные тела, которые время от времени очень легко увидеть и которые, без сомнения, уходят от Солнца гораздо дальше, чем Плутон на самой удаленной точке своей орбиты.

Этот факт был известен еще до того, как открытие Урана раздвинуло границы собственно планетной части солнечной системы. В 1684 г. английский ученый Исаак Ньютон (1642—1727) открыл закон всемирного тяготения. Этот закон строго математически обосновал кеплеровскую схему строения солнечной системы и позволил вычислить орбиту тела, обращающегося вокруг Солнца, даже если тело наблюдалось лишь на части своей орбиты.

Это в свою очередь дало возможность приняться за кометы — «косматые» светящиеся тела, которые время от времени появлялись на небе. В древности и в эпоху Средневековья астрономы считали, что кометы появляются без всякой правильности и что движение их не подчинено никаким естественным законам, широкие же массы были убеждены, что единственное назначение комет — предвещать несчастье.

Однако современник и друг Ньютона, английский ученый Эдмунд Галлей (1656—1742) попробовал применить к кометам закон тяготения. Он заметил, что некоторые особенно яркие кометы появлялись в небе через каждые 75—76 лет. И вот в 1704 г. он предположил, что все эти кометы на самом деле были одним и тем же небесным телом, которое двигалось вокруг Солнца по постоянной эллиптической орбите, причем орбите настолько вытянутой, что значительная ее часть лежала на колоссальном расстоянии от Земли. Когда комета находилась вдали от Земли, она была невидима. Но через каждые 75 или 76 лет она оказывалась на той

части своей орбиты, которая расположена ближе всего к Солнцу (и к Земле), и вот тогда-то она становилась видимой.

Галлей вычислил орбиту этой кометы и предсказал, что она вновь вернется в 1758 г. И действительно, комета появилась в тот год (через 16 лет после смерти Галлея) и с тех пор получила название кометы Галлея

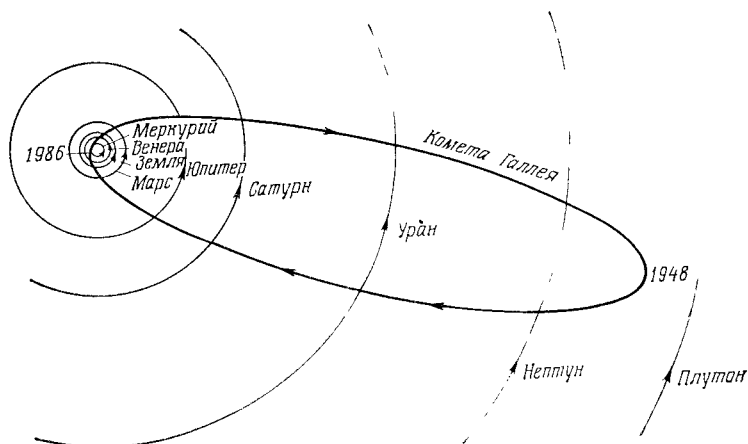


Рис 5 Комета Галлея

В ближайшей к Солнцу точке своей орбиты комета Галлея оказывается от него всего лишь примерно в 90 000 000 км, заходя таким образом немного внутрь орбиты Венеры. В наиболее же удаленной от Солнца части своей орбиты комета Галлея уходит от него приблизительно в  $3\frac{1}{2}$  раза дальше, чем Сатурн. В афелии расстояние кометы от Солнца составляет 5 300 000 000 км; иначе говоря, она уходит далеко за орбиту Нептуна. Таким образом, к 1760 г астрономы прекрасно знали, что солнечная система намного больше, чем думали греки, и для того чтобы убедиться в этом, им не требовалось открывать новые планеты.

Более того, комета Галлея — одна из комет, относительно близких к Солнцу. Существуют кометы, которые

движутся вокруг него по таким невероятно вытянутым орбитам, что возвращаются к нему только раз в несколько столетий, а то и тысячелетий. Они уходят от Солнца не на миллиарды километров, а скорее всего на сотни миллиардов. Голландский астроном Ян Хендрик Оорт (род. в 1900 г.) в 1950 г. высказал предположение, что, возможно, существует целое огромное облако комет, которые на протяжении всей своей орбиты находятся так далеко от Солнца, что никогда не бывают видимы.

Отсюда следует, что максимальный диаметр солнечной системы может достигать 1000 миллиардов, т. е. триллиона (1 000 000 000 000) километров или даже больше. Свеговому лучу требуется 40 суток, чтобы покрыть такое расстояние. Таким образом, можно сказать, что диаметр солнечной системы превосходит один световой месяц.

Земля относительно мала не только в сравнении с этими расстояниями. Четыре внешние планеты — Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун — видны в телескоп как диски, диаметр которых поддается измерению. Когда стало известно расстояние до этих планет, это дало возможность по видимым размерам их дисков вычислить их истинную величину. И каждая из этих внешних планет оказалась по сравнению с Землей настоящим гигантом.

Небесное тело	Экваториальный диаметр	
	км	в диаметрах Земли
Земля	12 753	1,00
Нептун	41 600	3,50
Уран	47 000	3,68
Сатурн	121 000	9,5
Юпитер	143 000	11,2
Солнце	1 392 000	109,0

А размеры Солнца делают его великаном по сравнению даже с самой большой из этих планет.

Кроме того, у каждой из этих гигантских планет имеется система спутников, по сравнению с которой наша

система спутников, состоящая из одной Луны, кажется карликовой. Первыми из спутников внешних планет были открыты четыре крупнейших спутника Юпитера, которые Галилей в 1610 г. увидел в свой первый телескоп. Позже всех из больших спутников был открыт спутник Нептуна Тритон, замеченный в 1846 г. английским астрономом Вильямом Ласселем (1799—1880). Были открыты еще и малые спутники, второй спутник Нептуна, Нереида, был обнаружен только в 1949 г. американским астрономом, голландцем по происхождению, Джерардом Питером Койпером (род. в 1905 г.). Всего теперь в солнечной системе вместе с нашей Луной известен 31 спутник<sup>1)</sup>. Но весьма вероятно, что будут открыты и еще какие-нибудь малые спутники.

Представление о размерах некоторых систем спутников по сравнению с системой спутников Земли может дать следующая таблица

Планета	Число спутников	Наиболее удаленный спутник	Среднее расстояние наиболее удаленного спутника от планеты, км
Земля	1	Луна	385 000
Уран	5	Оберон	591 500
Нептун	2	Нереида	5 540 000
Сатурн	9 (10— <i>Ред</i> )	Феба	12 905 000
Юпитер	12	Гадес (неофициальные названия)	23 600 000

<sup>1)</sup> Осенью 1966 г. О. Дольфус на обсерватории От Прованс Франция, открыл 10-й спутник Сатурна названный Янусом. Так что теперь известно 32 спутника — *Прим. ред.*

## Глава 3

# Звезды

### *Небесный свод*

Если бы Вселенная исчерпывалась солнечной системой, вопрос о ее размерах был бы в основном решен к 1700 г. Однако солнечная система — еще не вся Вселенная. Ведь есть еще звезды.

В 1700 г. еще можно было верить, что Вселенная ограничена твердым сводом, на котором находятся светящиеся точки звезд, и что этот твердый свод располагается, возможно, где-то у границ солнечной системы. Например, приблизительно так представлял себе это Кеплер.

Измерения параллаксов, которые помогли в XVII в. установить масштабы солнечной системы, для звезд не годились и не могли опровергнуть это представление о небе как о «тверди». Промежуток между двумя соседними звездами ни на ногу не менялся, какое бы расстояние ни разделяло на поверхности Земли обсерватории, производившие наблюдения. Даже когда это расстояние достигало всего диаметра Земли, ни у одной из звезд нельзя было заметить никакого смещения. В этом нет ничего удивительного, потому что даже если бы звезды находились непосредственно за орбитой Сатурна, они были бы все таки слишком далеко и не могли обладать параллаксом, достаточно большим для того, чтобы его можно было измерить в 1700 г.

Однако перемещения по поверхности Земли не исчерпывали всех возможностей астрономов при измерениях параллаксов. Диаметр Земли не достигает и 13 000 км, но весь земной шар движется в пространстве, обращаясь вокруг Солнца. Расстояние от одного конца диаметра его орбиты до другого составляет 299 000 000 км. Следовательно, если нанести в какой-то вечер положение звезд

на карту, а затем сделать то же самое в другой вечер полгода спустя, то астроном будет при этом наблюдать звезды из двух точек, разделенных расстоянием, в 23 600 раз превосходящим полную длину земного диаметра, и во столько же раз должен был бы увеличиться параллакс. Положение данной звезды могло бы слегка изменяться каждый вечер, по мере того как Земля несется в пространстве, и за год эта звезда описала бы в небе крохотный эллипс — своего рода изображение земной орбиты. Угловое расстояние от края этого эллипса до его центра и было бы параллаксом звезды.

Для планет такой способ не годится, потому что за год каждая планета проходит по небу довольно сложный собственный путь, который маскирует параллактическое смещение, вызываемое движением Земли. Попытка отделить собственное движение планеты от смещений, вызванных движением Земли, была бы крайне затруднительна и дала бы результаты, менее точные, чем те, которые получаются с помощью обычных измерений параллаксов. Но звезды в течение всего года практически неподвижны, и поэтому у них можно обнаружить нужное нам параллактическое смещение.

Однако такое смещение обнаружено не было. Наступил уже XIX в., а астрономы все еще не могли определить параллакса ни одной звезды.

Для объяснения этого можно было предложить несколько различных причин.

Конечно, Коперник и Кеплер могли ошибаться, и Земля вовсе не двигалась вокруг Солнца, а была неподвижным центром Вселенной. В таком случае никакой параллакс в течение года не наблюдался бы. Надо сказать, что, когда Коперник впервые выдвинул гелиоцентрическую теорию, его противники использовали отсутствие звездных параллаксов в качестве сильнейшего довода против нее. Однако имелось слишком много других оснований для принятия гелиоцентрической теории, и в конце концов она прочно утвердилась в астрономии, несмотря на отсутствие звездных параллаксов. Земля, несомненно, движется вокруг Солнца, и объяснение отсутствия параллакса следовало искать в чем-то другом.

Параллактические смещения звезд могли все-таки отсутствовать, несмотря на движение Земли, если бы все звезды находились на одном и том же расстоянии от нее. Ведь параллактическое смещение возникает только тогда, когда положение относительно близкого предмета сравнивается с положением относительно далекого. Если бы

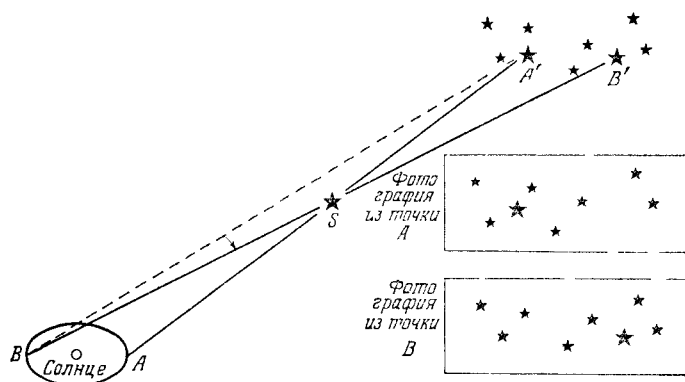


Рис 6 Параллакс звезды

действительно существовал твердый небосвод, то все звезды при относительно малом изменении положения наблюдателя смещались бы совершенно одинаково (а перемещение Земли по ее орбите чрезвычайно незначительно даже по сравнению с той маленькой Вселенной, которую отдельные ученые принимали в 1700 г.). В этом случае наблюдаемого параллакса не возникало бы.

Но приемлема ли гипотеза о существовании твердого небосвода? Можно привести веские доводы в пользу того, что звезды находятся на различных расстояниях от нас, и даже на очень различных. Они могли быть рассеяны на огромном протяжении, и Вселенная могла вовсе не иметь твердой границы.

Во первых, звезды обладают различной яркостью. Чтобы убедиться в этом, достаточно взглянуть на ночное небо. Гиппарх был первым, кто попытался классифицировать звезды по их яркости. Он разделил звезды на шесть классов, или «величин». Самые яркие звезды он



назвал звездами первой величины, следующие по яркости — звездами второй величины и т. д. до шестой величины, к которой он отнес наиболее тусклые звезды, почти не различимые простым глазом.

Современные астрономы измеряют яркость отдельных звезд с помощью инструментов, каких не было у древних, и звездные величины определяются теперь с математической точностью. Разница в 5 величин (скажем, между первой и шестой) представляет собой изменение яркости в 100 раз. Другими словами, звезда первой величины в 100 раз ярче звезды шестой величины. Разница в одну величину соответствует изменению яркости в 2,512 раза, так как  $100 = 2,512 \times 2,512 \times 2,512 \times 2,512 \times 2,512$ .

Точные измерения позволили определять величину звезды с точностью до десятых долей силы ее света и даже до десятых долей ее звездной величины. Так, видимая величина яркой звезды Альдебаран равна 1,1, величина Регула равна 1,3, величина еще менее яркой Полярной звезды равна 2,1, а величина Электры, в скоплении Плеяды, равна 3,8.

Существует ряд звезд, более ярких, чем Альдебаран; их звездная величина меньше 1,0. Прокцион имеет величину 0,5, а величина еще более яркой Веги равна 0,1. Величину наиболее ярких звезд приходится обозначать отрицательными числами. Капосус имеет величину  $-0,7$ , а Сириус даже  $-1,4$ .

Можно ввести в этот ряд ярких светил также и планеты, Луну и Солнце. Венера, Марс и Юпитер бывают по временам ярче самой яркой из звезд. Юпитер может достигать величины  $-2,5$ , Марс  $-2,8$ , а Венера  $-4,3$ . Полная Луна имеет величину  $-12,6$ , а величина Солнца равна  $-26,9$ .

Продвигаясь по этой шкале в противоположном направлении, мы обнаруживаем, что существуют звезды, более слабые, чем звезды 6-й величины — правда, они невидимы невооруженным глазом. Когда Галилей в 1609 г. впервые навел свой телескоп на небо, он обнаружил там сотни звезд, которых не видел прежде. Известны и изучаются звезды 7-й, 8-й, 9-й и т. д. величин — чем больше число, обозначающее величину, тем меньше яр-

кость звезды. Наши самые большие телескопы позволяют увидеть мириады звезд до величины 23,5 и еще более слабые.

Если бы все звезды обладали одинаковой истинной яркостью (или светимостью), то мы могли бы считать, что разница в видимой яркости объясняется только расстоянием до них. Ближние звезды могут казаться ярче отдаленных точно так же, как ближайший уличный фонарь кажется ярче того, который мы видим вдалеке.

Но в 1700 г. не было никаких оснований полагать, что все звезды обладают одинаковой светимостью. С тем же успехом можно было считать, что все они находятся на одинаковом расстоянии от Земли и разница в их яркости совершенно реальна: просто более яркие звезды светят сильнее, как одни лампочки на самом деле светят ярче других.

Однако вскоре открытие другого явления нанесло гипотезе о равной удаленности звезд значительно более мощный удар.

Древние греки гочно зафиксировали относительное положение видимых звезд. Первым, кто занимался этим систематически, был Гиппарх, который примерно к 134 г. до н. э. отметил положение свыше 800 звезд. Он был создателем первой звездной карты, которую сохранил для потомков Птолемей, доведший число изображенных на ней звезд до 1000 с лишним.

В 1718 г. Галлей, изучая положение звезд, обнаружил, что по крайней мере три звезды — Сириус, Прокцион и Арктур — находятся не в тех местах, где их отметили греки. Различие в их положениях было так велико, что практически исключало возможность ошибки как греков, так и Галлея. Например, Галлей обнаружил Арктур на целый градус (расстояние, вдвое превышающее диаметр полной Луны) в стороне от того места, где его отметили греки.

Галлею стало ясно, что эти звезды переместились. Следовательно, они не были закреплены, а обладали собственным движением. Это движение звезд по сравнению с движением планет было чрезвычайно медленным, и его невозможно было заметить за несколько дней или даже за несколько лет. Но в течение столетий медленное

собственное движение звезд в конце концов все же привело к заметному изменению их места на небе.

Самый факт движения звезд был жесточайшим ударом по гипотезе о существовании твердого неба. Было ясно, что если не все, то, во всяком случае, некоторые звезды не были прикреплены к небосводу, и сразу же возникла идея, что ни одна звезда к нему не прикреплена и что вообще никакого небосвода нет.

Тем не менее, хотя звезды не были прикреплены к какой-нибудь твердой оболочке, они все же могли находиться на одинаковом расстоянии от Земли. Ведь мог существовать довольно тонкий сферический слой, внутри которого распределялись ни к чему не прикрепленные звезды.

Это предположение опровергалось тем фактом, что измеримое собственное движение было обнаружено лишь у незначительного числа звезд. Конечно, звезда могла бы двигаться незаметно для нас в течение даже очень долгого времени, если бы она двигалась вдоль луча нашего зрения. Однако если бы звезды двигались во всех направлениях без определенной закономерности, то более или менее поперек луча нашего зрения должно было бы двигаться примерно столько же звезд, как и вдоль него. В этом случае, если хоть у каких-то звезд обнаруживалось измеримое собственное движение, то обнаруживаться оно должно было бы по меньшей мере у половины всех звезд. И все-таки самые тщательные наблюдения показали, что такое измеримое собственное движение — это исключение, а не правило.

А если отказаться от предположения, что все звезды находятся от нас примерно на одинаковом расстоянии? Предположим, наоборот, что расстояния эти чрезвычайно различны. Если все звезды движутся с одинаковой скоростью или, во всяком случае, с довольно близкими скоростями и в самых разных направлениях, мы можем сделать из этого определенные выводы.

У тех звезд, которые движутся более или менее вдоль луча нашего зрения, измеримого собственного движения не обнаружится, независимо от того, близко они от нас находятся или далеко. Из тех же звезд, которые движутся более или менее поперек луча нашего зрения, более

близкие будут обладать большим собственным движением, чем более далекие.

Связь относительно большого собственного движения с относительной близостью звезды подтверждается тем фактом, что такое собственное движение чаще обнаруживается у ярких звезд. Первые три звезды, у которых

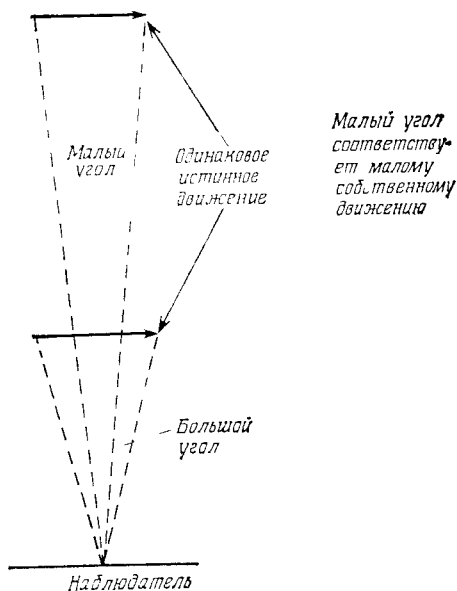


Рис 7 Собственное движение и расстояние

было замечено собственное движение, — Сириус, Прокцион и Арктур — входят в число восьми ярчайших звезд неба. Попятно, что более близкая звезда должна и казаться более яркой и обладать более заметным собственным движением. Такая точка зрения вполне объясняет, почему измеримое собственное движение найдено только у немногих звезд. Вполне вероятно, что лишь самые ближайшие звезды достаточно близки к нам, чтобы у них можно было заметить хотя бы крохотное собственное

движение, и что за ними лежат мириады мириадоз звезд, слишком далеких, чтобы их перемещение можно было заметить на протяжении даже многих веков.

Таким образом, к середине XVIII в. стало совершенно ясно, что не существует ни твердого неба, ни даже относительно тонкого слоя звезд. Наоборот, звезды были чрезвычайно широко рассеяны в безграничных просторах Вселенной. Собственно говоря, эту идею уже высказывали некоторые средневековые ученые, например немецкий философ Николай Кузанский (1401—1464), но то, что тогда было чисто умозрительным заключением, теперь стало выводом из точных наблюдений.

### ***Множественность солнц***

Но если Земля движется и если звезды располагаются на самых разных расстояниях от нее, то почему же у ближайших из них не замечается никакого параллактического смещения относительно более отдаленных?

Одно объяснение этого факта было настолько очевидным, что было принято почти немедленно даже ближайšie звезды так далеки от нас, что их параллаксы не могли быть измерены с помощью инструментов начала XIX в. (Собственно, еще Коперник именно так ответил тем, кто утверждал, что отсутствие звездных параллаксов опровергает движение Земли вокруг Солнца.)

Но все же имелась возможность несколькими способами сугубо приблизительно оценить расстояния до ближайших звезд.

Попробуем, например, исходить из того, что звезды на самом деле движутся с такой же скоростью, как и планеты. В этом случае мы можем вычислить расстояние, на котором подобное движение будет выглядеть как то крохотное, почти неподдающееся измерению переползание, каким представляется нам собственное движение звезд.

Звезда, обладающая наибольшим собственным движением, — это звезда Барнарда, названная по имени американского астронома Эдварда Эмерсона Барнарда (1857—1923), открывшего ее в 1916 г. Ее собственное движение равно  $10'',3$  в год.

Чтобы понять, как это мало, вспомните, что круг делится на  $360^\circ$ , каждый градус — на  $60'$ , а каждая минута — на  $60''$ . Одна секунда дуги равна  $\frac{1}{1\,296\,000}$  окружности небесной сферы. Поскольку видимый диск Луны имеет в диаметре 31 минуту дуги, 1 секунда составляет  $\frac{1}{1860}$  его диаметра. Юпитер кажется нам просто светящейся точкой, однако диаметр его диска, видимого невооруженным глазом, изменяется от  $30''$  до  $50''$  в зависимости от расстояния, разделяющего Юпитер и Землю.

Следовательно, когда мы говорим, что звезда Барнарда проходит за год  $10'',3$ , это значит, что за год она смещается менее чем на  $\frac{1}{200}$  часть диаметра Луны или примерно на четверть диаметра точки-Юпитера. Тем не менее ее собственное движение по сравнению с движением всех других звезд настолько велико, что ее иногда называют «летающей звездой Барнарда». Гораздо чаще собственное движение звезды измеряется  $1''$  в год или даже меньше.

Итак, предположим, что звезда Барнарда на самом деле движется поперек нашего луча зрения с той же скоростью, с какой Земля движется вокруг Солнца, т. е.  $30\text{ км/сек}$ . В этом случае за год она пролетала бы  $940\,000\,000\text{ км}$ . Чтобы такое расстояние было равно на нашем небосводе только  $10'',3$ , звезда Барнарда должна находиться от нас примерно в 16 триллионах км, т. е. во много тысяч раз дальше от Солнца, чем Плутон. В таком случае параллакс звезды Барнарда составил бы всего лишь около  $1''$ . А если бы звезда Барнарда двигалась гораздо быстрее Земли (как это и есть на самом деле), то она должна была бы находиться от нас еще гораздо дальше и обладала бы соответственно меньшим параллаксом.

Если звезда описывает в небе маленький эллипс с поперечником примерно  $1''$  или еще меньше, то астроному чрезвычайно трудно это уловить. Величина этого эллипса приблизительно соответствует размерам копейки на которую смотрят с расстояния  $2\text{ км}$ .

Правда, собственное движение со скоростью в  $1''$  в год можно обнаружить без особых трудностей, так как оно продолжается постоянно в одном и том же направлении и накапливается из года в год. За 100 лет звезда,

продвигающаяся на 1" в год, проделает по небу путь почти в 2', а такое смещение легко обнаруживается с помощью телескопа. Однако параллактическое смещение происходит то в одну сторону, то в противоположную и с годами не накапливается.

Если звезды и на самом деле находятся от нас в лучшем случае в десятках триллионов километров, то уже тот факт, что мы можем их видеть, сам по себе приобретает значительный интерес. Даже столь сверхъестественно яркое небесное тело, как Солнце, с расстояния в десятков триллионов километров показалось бы нам лишь крохотной светящейся точкой. Оно выглядело бы обыкновенной звездой. И наоборот, любая звезда, находясь она от нас на таком же расстоянии, как Солнце, казалась бы нам столь яркой, что походила бы на Солнце.

Поэтому мы должны считать Солнце звездой, которая отличается от других звезд прежде всего тем, что мы рассматриваем его с расстояния в сотни миллионов километров, а не в триллионы, как все остальные звезды. Кроме того, мы должны считать Вселенную огромным собранием солнц, к числу которых принадлежит и наше Солнце.

Предположим в таком случае, что звезда Сириус на самом деле столь же ярка, как Солнце, и светит слабее только потому, что она чудовищно далека от нас. Сириус имеет звездную величину — 1,6, а звездная величина Солнца равна — 26,9. Солнце ярче Сириуса на 25,3 величины, а каждая величина означает увеличение яркости в 2,512 раза. Это значит, что видимая яркость Солнца превосходит видимую яркость Сириуса в 13 200 000 000 раз.

Яркость источника света обратно пропорциональна квадрату расстояния до него. Другими словами, если источник света удалить на расстояние, вдвое большее, чем прежде, яркость его уменьшится до  $(\frac{1}{2})^2$  или до  $\frac{1}{4}$  первоначальной, если его отнести на расстояние в 5 раз больше прежнего, его яркость уменьшится до  $(\frac{1}{5})^2$ , или же до  $\frac{1}{25}$ . Если яркость Сириуса составляет всего лишь  $\frac{1}{13\,200\,000\,000}$  яркости Солнца, следовательно, он находится от нас в 115 000 раз дальше Солнца, поскольку  $115\,000 \times 115\,000 = 13\,200\,000\,000$ . Мы знаем, что до Солнца от нас 150 000 000 км, поэтому, продолжая тот же

ход рассуждений, можно сделать вывод, что расстояние до Сириуса должно быть чуть больше 17 триллионов км. Короче говоря, исходим ли мы из собственного движения звезд или же из их яркости, каждый раз мы получаем те же самые колоссальные расстояния и вынуждены ожидать того же не поддающегося измерению параллакса.

Выражать расстояние в триллионах километров бессмысленно. Тут лучше обратиться к тем единицам расстояния, которые измеряются длиной пути, проходимого светом за определенную единицу времени. Я уже говорил, что световой час равен 1 080 000 000 км. Попробуем применить для измерения расстояний световой год.

Свет, несущийся со скоростью 300 000 км/сек, за один год покрывает расстояние в 9 440 000 000 000 км. Округляя, мы с достаточной точностью можем сказать, что световой год равен 10 триллионам км.

Используя эту единицу, мы находим, что Сириус (согласно приведенным выше рассуждениям) находится от нас на расстоянии в 17 триллионов км, или почти в два световых года. Поскольку Сириус, несомненно, одна из ближайших к нам звезд, о чем свидетельствуют и его яркость, и его собственное движение, то отсюда неизбежно следует вывод, что все звездные расстояния должны измеряться по меньшей мере в световых годах.

Сравним эти расстояния с размерами солнечной системы. Луч света, который пробегает путь от Солнца до Земли за 8 мин, а от Солнца до Плутона — за 5½ час, до самых ближайших звезд доберется только через несколько лет!

## ***Поиски параллаксов звезд***

По мере того как телескопы с годами становились все лучше и больше, росли надежды, что удастся заметить крохотные звездные параллаксы и расстояние хотя бы до ближайших звезд будет определено непосредственным измерением, а не выведено из более или менее ненадежных предположений. К несчастью, чем ближе находилась наблюдаемая звезда, тем как будто сложнее становилась проблема.



Например, у ближайших звезд, которые могли бы обладать самыми большими параллаксами, было, кроме того, вероятно, и наиболее значительное собственное движение. Это означало, что параллактическое смещение придется как бы отделять от этого собственного движения.

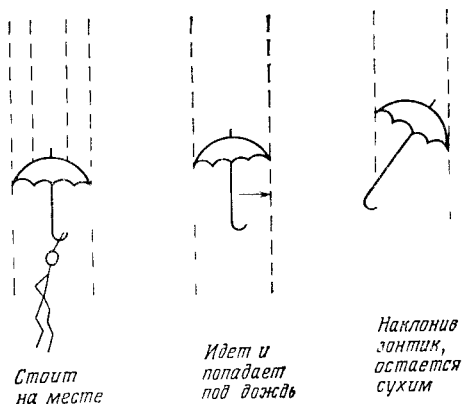


Рис 8 Аберрация

Положение еще больше усложнилось в 1725 г., когда английский астроном Джеймс Брадлей (1693—1762), занимаясь тщательным определением положения звезд, обнаружил крохотные смещения, в результате которых определенные звезды действительно описывали по небосводу за год крохотные эллипсы. Однако трудность заключалась в том, что эти звезды меняли свое положение не так, как этого следовало бы ожидать при параллактическом смещении: хотя звезде полагалось занять наиболее южное положение в декабре, она достигала этой точки эллипса в марте. И такое грехмeseячное отставание наблюдалось при движении по всему эллипсу.

В 1728 г. Брадлей сумел доказать, что это было результатом движения Земли по отношению к лучам света, приходящего к ней от звезд.

Для объяснения этого явления принято проводить аналогию с дождем. Если капли дождя падают вертикально, а человек с зонтиком стоит неподвижно, ему достаточно держать зонтик прямо над головой. Однако если он пойдет вперед, то на него начнут падать капли, успевшие миновать зонтик. Поэтому ему следует чуть-чуть наклонить зонтик вперед. Чем быстрее он движется, тем больше должен наклонять зонтик, а если он меняет направление движения, то должен изменить и направление наклона зонтика.

Точно так же, поскольку Земля движется сквозь «дождь» световых лучей, астроном должен слегка наклонять свой телескоп в направлении, которое определяется соотношением скорости Земли и скорости света. Так как Земля, вращаясь вокруг Солнца, изменяет направление своего движения, астроном также должен изменять направление наклона своего телескопа. В итоге наблюдаемая звезда описывает по небосводу видимый эллипс, но это не параллактический эллипс.

Это явление называется абберацией света, и оно влияет на положение звезд гораздо больше, чем мог бы повлиять параллакс. Благодаря абберации звезда может сместиться на целых  $40''$ , и чтобы найти параллакс, его следует отделить от этого значительно большего смещения <sup>1)</sup>.

Кроме того, Бродлей открыл, что направление земной оси относительно звезд слегка смещается то в одну, то в другую сторону с периодом в 18,6 лет, словно Земля кивает. Это движение называется нутацией (от латинского слова *nutatio*, означающего «кивание»). В результате возникают небольшие изменения видимого положения

---

<sup>1)</sup> Хотя Бродлей обнаружил абберацию света, пытаясь обнаружить параллакс, это, разумеется, никак нельзя считать неудачей. Существование абберации света является столь же веским доказательством движения Земли вокруг Солнца, каким явилось бы существование звездных параллаксов. Если бы Земля действительно была неподвижным центром Вселенной, не существовало бы ни параллакса, ни абберации. К середине XVIII в. геоцентрическая система уже поконлась в гробу. Но открытие Бродлея забило еще один гвоздь в крышку этого гроба. Кроме того, открытие абберации дало Бродлею возможность определить скорость света с большей точностью, чем это делалось раньше.

звезд, которые также необходимо каким-то образом отделить от параллактических смещений, если такие смещения существуют.

Поиски параллакса звезд, благодаря которым Брайль обнаружил явление абберации, привели Гершеля (открывшего Уран) к еще более поразительному открытию

Гершель полагал, что ему будет легче обнаружить крохотные изменения, вызываемые звездным параллаксом, если он выберет для наблюдения две звезды, расположенные очень близко друг к другу. Он исходил из того, что подобные звезды совершенно случайно оказываются практически на одном луче зрения, хотя на самом деле они могут быть разделены огромным расстоянием. В таком случае ближайшая из них будет как бы смещаться по отношению к другой (первым такое предположение выдвинул Галилей).

Гершель обнаружил смещения почти немедленно, но они не могли объясняться звездным параллаксом. Параллактическое смещение (после того, как вы учтете влияние собственного движения звезд, абберации света и нутации) должно было бы за год свестись к замкнутому эллипсу, но смещение, наблюдавшееся Гершелем, такого характера не носило. Правда, Гершель обнаружил, что его звезды описывают эллипс — но не за год, а за гораздо более длительное время.

В 1793 г. он пришел к убеждению, что наблюдает две звезды, обращающиеся друг около друга вокруг общего

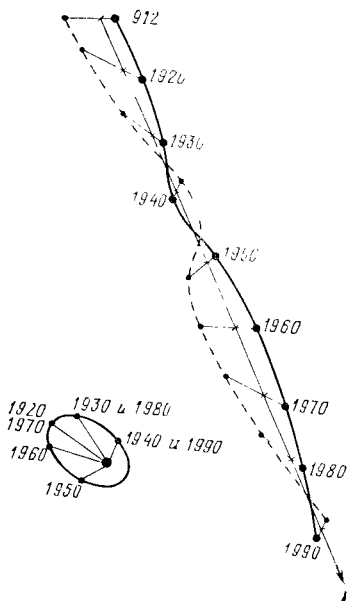


Рис. 9 Движение Сириса

центра тяжести. Движение, которое он наблюдал, определялось только взаимным притяжением звезд и не имело никакого отношения к параллаксу. Эти две звезды не были независимыми телами, которые только казались близкими, потому что находились на одном луче зрения (хотя в других случаях это, несомненно, так и было), нет, эти звезды на самом деле находились близко друг к другу. Гершель открыл двойные звезды. За свою жизнь он обнаружил 800 таких пар звезд.

Более того, смещение, вызванное находящейся поблизости звездой, можно было обнаружить, даже когда сама эта соседняя звезда была невидима. В 1844 г. немецкий астроном Фридрих Вильгельм Бессель (1784—1846), изучавший Сириус, заметил, что собственное движение этой звезды происходит не по прямой, как того следовало бы ожидать. Путь Сириуса имел вид волнистой линии. Если бы у Сириуса имелась звезда-спутник, то волнистую линию легко было бы объяснить как эллиптическое движение вокруг этой звезды, сочетающееся с прямолинейным собственным движением. Однако никакой звезды-спутника видно не было. Бессель предположил, что у Сириуса имеется темный спутник — возможно, догоревший уголь, остаток некогда яркой звезды, которую уже нельзя было увидеть, но которая все еще существовала и воздействовала своим тяготением на движение главной звезды.

Предположение Бесселя подтвердилось в 1862 г., когда американский астроном Олвен Грехэм Кларк (1832—1897) обнаружил вблизи Сириуса тусклое пятнышко света. Это и оказался бесселевский темный спутник. Он не был совсем темным, но имел звездную величину 7,1.

### ***Расстояние до ближайших звезд***

По мере того как усовершенствовались астрономические инструменты и все лучше и лучше изучались сложные видимые движения звезд по небосводу, надежда, что еще удастся открыть звездные параллаксы, продолжала возрастать. Атаки на эту проблему становились все более настойчивыми и хитроумными, и в 30-х годах

XIX в. трое ученых независимо друг от друга предприняли попытку разрешить ее.

В Южной Африке шотландский астроном Томас Гендерсон (1798—1814) тщательно изучал положение Альфы Центавра. Это трегья по яркости звезда на небе (она, однако, находится слишком далеко на юге и невидима из средних широт северного полушария), а следовательно, как он надеялся, — одна из ближайших к Земле.

В Прибалтике русский астроном Василий Струве (1793—1864) изучал положение Веги. Это четвертая по яркости звезда, и она тоже могла оказаться одной из ближайших к Земле.

В Кенигсберге, в Восточной Пруссии, Бессель (который в следующем десятилетии открыл спутник Сириуса) испробовал иной путь. В качестве критерия близости звезды он принял не ее яркость, а собственное движение. Для своих измерений Бессель избрал звезду 61 Лебеда (одну из звезд созвездия Лебедь), собственное движение которой составляло  $5'',2$  в год. В то время это было самое большое известное собственное движение звезды<sup>1)</sup>.

Бессель рассудил, что 61 Лебеда, несмотря на ее малую яркость, должна находиться сравнительно недалеко от нас. Он измерил расстояние между 61 Лебедя и двумя очень слабыми (а следовательно, как он надеялся, очень далекими) соседними звездами с помощью нового инструмента, так называемого гелиометра, который давал возможность чрезвычайно точно измерять угловые расстояния. Бессель производил эти измерения в течение года.

Со временем всем трем астрономам удалось определить параллаксы тех звезд, которые они изучали. Первым в 1838 г. объявил о полученных результатах Бессель. Гендерсон, закончивший свою работу даже раньше

---

<sup>1)</sup> Это и до сих пор самое большое собственное движение, известное у звезд, доступных наблюдению невооруженным глазом. Полдесятка звезд, которые, как было обнаружено, движутся еще быстрее, настолько слабы, что видны только в телескоп, но они слабы потому, что дают мало света, а не потому, что находятся на большом расстоянии от нас.

Бесселя, опубликовал свои результаты только в 1839 г., когда вернулся в Англию. Струве сделал свое сообщение в 1840 г.

После некоторых уточнений, внесенных в первоначальные результаты за последующие годы, оказалось, что Альфа Центавра (на самом деле тройная звезда с двумя большими и очень близкими друг к другу членами системы и очень далеким и очень слабым спутником) обладает параллаксом в  $0,760''$ . Этот параллакс, всего в  $\frac{3}{4}$  секунды дуги, оказался самым большим из всех, измеренных и по сей день. Следовательно, система Альфы Центавра является ближайшей соседкой нашей солнечной системы. Расстояние до нее равно 4,29 светового года

Что касается 61 Лебеда, то это тоже двойная звезда. Ее параллакс оказался равным  $0,29''$ , а расстояние до нее составляет 11,1 светового года. Вега оказалась наиболее трудной для наблюдения из всех трех звезд, потому что она — самая далекая из них. Она находится на расстоянии примерно в 27 световых лет

После определения параллаксов в моду вошла новая единица для измерения расстояний. Очень удобной единицей было бы такое расстояние, на котором звезда имела бы параллакс в  $1''$ . Эта единица — параллакс-секунда, или, согласно повсеместно принятому сокращению, парсек. Один парсек равен 3,26 светового года, или 200 000 а. е., или 30 триллионам км.

Расстояние до некоторых ближайших к нам звезд приводится в таблице на стр. 55.

Отсюда видно, что солнечная система окружена гигантской пустотой. Примерные расстояния, приведенные в начале этой главы, оказываются чрезвычайно заниженными. Звезда Барнарда, расстояние до которой на основании предположения, что она движется с такой же скоростью, как и Земля, оценивалось в 16 триллионов км, на самом деле движется быстрее и находится от нас на расстоянии в 56 триллионов км. Сириус, расстояние до которого, согласно предположению, что его истинная яркость равна яркости Солнца, оценивалось в 17 триллионов км, на самом деле заметно ярче и находится от нас в 80 триллионах км. Даже расстояние до самой

близкой звезды — Альфы Центавра — равно 40 триллионам км

Эта ближайшая к нам звезда в 7000 раз дальше от Солнца, чем Плутон. Представьте себе круг, в центре которого помещено Солнце, а на окружности — Альфа Центавра. Если принять радиус такого круга равным 8 м (таким, что внутри круга можно будет поместить приличных размеров домик), то взятая в соответствующем масштабе орбита Плутона вокруг Солнца окажется крохотным эллипсом, наибольший диаметр которого составит 2,5 мм.

Звезда	Расстояние	
	световые годы	парсек
Альфа Центавра	4 29	1 32
Звезда Барнарда	5,97	1,84
Вольф 359	7,74	2,38
Сириус .	8 7	2,67
61 Лебеда	11,1	3,42
Процион	11,3	3,48
Звезда Кантейна	12,7	3,87
Звезда Ван Маанена	13,2	4,06
Альтаир .	15,7	4,82

Установив действительное расстояние до звезды, мы можем по ее видимой величине рассчитать истинную силу ее света — ее светимость, и наоборот, мы можем определить, насколько яркой будет она казаться на любом выбранном нами расстоянии. Яркость звезды на произвольно выбранном расстоянии в 10 парсек (или 32,6 светового года) называется ее абсолютной звездной величиной.

Если бы Солнце находилось от нас на расстоянии в 10 парсек (а не на своем реальном расстоянии в 0,000005 парсек), то оно имело бы звездную величину 4,9 и было бы лишь весьма тусклой звездой. Если бы Сириус находился на расстоянии в 10 парсек (а не в 2,67 парсек, как в действительности), то и он выглядел бы менее ярким, но ненамного. Его абсолютная величина составляет 1,4

Если бы можно было поместить Солнце и Сириус на равные расстояния от нас, то Сириус был бы на 3,5 величины ярче Солнца. Поскольку разность в одну звездную величину соответствует изменению яркости в 2,512 раза, то мы можем сказать, что Сириус в  $(2,512)^{3.5}$ , или в 25 раз ярче Солнца. Ниже приведены абсолютные величины и светимости некоторых наиболее известных звезд.

Звезда	Абсолютная величина	Светимость (Солнце=1)
Солнце	4,9	1,00
Процион	2,7	7,6
Альтаир	2,3	10,9
Сириус	1,4	25,0
Вега	0,5	57,5
Арктур . . . .	—0,3	120
Капелла . . . .	—0,3	120
Регул . . . . .	—0,7	173
Альдебаран	—0,8	190
Канопус . . . .	—3,1	5 200
Бета Центавра	—5,2	12 000
Антарес . . . . .	—5,4	13 000
Ригель . . . . .	—7,1	25 000
Денеб . . . . .	—7,1	25 000

Другими словами, Солнце, самое великолепное светило наших небес, которое Коперник считал центром Вселенной, — не только звезда, но, кроме того, весьма заурядная звезда. Есть звезды, которые светят в тысячи раз сильнее, чем Солнце.

Однако нам не стоит особенно огорчаться. Если Солнце и не самая яркая из звезд, то отнюдь и не самая слабая.

Более того, из 50 ближайших к Солнцу звезд лишь у трех — Сириуса, Прокциона и Альтаира — светимость заметно выше, чем у Солнца. У двух главных звезд системы Альфа Центавра (Альфы Центавра А и Альфы Центавра В) светимость примерно равна солнечной. Светимость же остальных 45 звезд меньше, чем у Солнца, и у некоторых — намного меньше.



## Глава 4

# Галактика

### Парадокс Ольберса

К 1840 г. астрономы измерили, наконец, расстояние до звезд — по крайней мере до ближайших из них — и обнаружили, что это расстояние заметно превышает 1 *парсек*

Неизбежно встал следующий вопрос: где кончаются звезды? Как далека от нас самая далекая звезда? Ведь Земля имеет поверхность конечных размеров, и размеры пространства, занимаемого солнечной системой, тоже конечны. Остаемся ли мы еще в пределах конечного, поднявшись на новую ступень? Или мы все таки оказываемся лицом к лицу с бесконечностью — с тем понятием, которое так смущало ученых с самого начала?

Если мы ограничимся лишь той частью Вселенной, которую можно увидеть невооруженным глазом, то такая Вселенная, безусловно, будет конечной. Теперь известно, что по крайней мере в ближайшей к нам области среднее расстояние между звездами составляет примерно 3 *парсек* (или около 10 световых лет). Мы знаем также, что невооруженным глазом можно увидеть около 6000 звезд. Предположим, что это — все существующие звезды и что все они находятся друг от друга на указанном выше среднем расстоянии. В таком случае все 6000 звезд уместятся в сфере диаметром примерно 100 *парсек*, или 330 световых лет.

Это, конечно, достаточно много по обычным человеческим представлениям. Сфера в 100 *парсек* имеет диаметр примерно в 3 квадрильона, т. е. 3 000 000 000 000 000 км, и ее размеры погрязли бы и ошеломили бы любого астронома, жившего до 1600 г., и многих из живших позже.

Однако эти 6000 звезд — отнюдь не все существующие звезды. Едва Галилей в 1609 г. навел на небо свой первый телескоп, как обнаружил множество слабых звезд, невидимых невооруженным глазом. И каждое новое усовершенствование телескопа приносило новый обильный урожай еще более многочисленных и еще более слабых звезд.

Сперва не было видно конца этим открытиям, и в 1800 г. вместо Вселенной с диаметром в 100 *парсек*, включающей 6000 звезд, легко было бы признать существование Вселенной с бесконечным числом звезд и без какого-либо конца в пространстве. В этом случае вопрос: «Как далека от нас самая далекая звезда?», не имел бы смысла, потому что на него можно было бы ответить: «Самой далекой звезды не существует!»

Однако мысль о бесконечности, как всегда, была для человечества непереносима. На возможность существования бесконечной звездной Вселенной было начато наступление с двух сторон — и в теории, и в наблюдениях.

Теоретические основания для сомнений в бесконечности звездной Вселенной были сформулированы немецким астрономом Генрихом Вильгельмом Матеусом Ольберсом (1758—1840). В 1826 г. он пришел к так называемому парадоксу Ольберса. Чтобы изложить его, начнем с установления следующих предпосылок:

- 1) протяженность Вселенной бесконечна;
- 2) число звезд бесконечно, и они распределены по Вселенной равномерно;
- 3) все звезды Вселенной имеют в среднем одинаковую светимость.

Представим себе солнечную систему в центре подобной Вселенной и разделим в своем воображении Вселенную на тонкие концентрические слои, вроде тех, из которых складывается луковица.

Объем каждого из этих тонких слоев будет возрастать пропорционально квадрату расстояния слоя от центра. Если слой А находится в 3 раза дальше от нас, чем слой В, то объем слоя А будет в  $3^2$ , т. е. в 9 раз больше, чем объем слоя В. И если звезды равномерно распределены по всем слоям (предпосылка 2, см. выше),

то слой А, объем которого в 9 раз больше объема слоя В, будет содержать и в 9 раз больше звезд.

С другой стороны, свет отдельных звезд ослабевает пропорционально квадрату расстояния до них. Если слой А в три раза дальше, чем слой В, и содержит в 9 раз больше звезд, то яркость каждой отдельной звезды (при одинаковой средней светимости — предпосылка 3, см. выше) слоя А будет равна  $(1/3)^2$ , т. е.  $1/9$  яркости отдельной звезды слоя В.

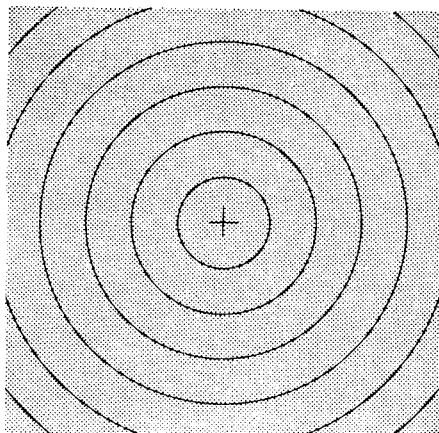


Рис 10 Парадокс Ольберса

Таким образом, получается, что слой А содержит в 9 раз больше звезд, чем слой В, и что яркость каждой звезды слоя А равна лишь  $1/9$  яркости каждой звезды слоя В. Следовательно, общая сумма света, получаемого солнечной системой от слоя А, равна  $9 \times 1/9$  света, получаемого от слоя В. Иначе говоря, солнечная система получает и от слоя А, и от слоя В равное количество света.

Точно такой же вывод получается для любого другого слоя. Отсюда следует, что если бы количество слоев было бесконечно (предпосылка 1, см. выше), то количество

достигающего нас света также было бы бесконечным — при условии, что ближние звезды не заслоняли бы более отдаленных. Но даже если учесть, что ближние звезды заслоняют дальние, все небо должно было бы сиять, как поверхность одного гигантского яркого солнца. А на самом деле этого, разумеется, нет.

Ольберс предположил, что объяснить этот парадокс можно было бы присутствием в космосе пылевых облаков, которые поглощают свет более далеких звезд, так что до нас доходит лишь свет относительно близких звезд. Однако такое объяснение невозможно. Если бы пылевые облака поглощали свет, они постепенно нагревались бы, пока сами не начали бы испускать столько же света, сколько поглощают. Количество света, достигающего нас, по-прежнему осталось бы бесконечным.

Следовательно, исходные предпосылки Ольберса должны были содержать какую-то ошибку: либо протяженность Вселенной не могла быть бесконечной, либо, если она бесконечна, не могло быть бесконечным число звезд. Вместо этого следовало предполагать существование конечного (хотя и очень большого) числа звезд, распределенных по конечному (хотя и очень обширному) пространству.

Такое заключение, вытекающее из рассуждений Ольберса, отлично согласовалось с результатами тщательных астрономических наблюдений, которые вел в это время Вильям Гершель.

### *Линза Гершеля*

По крайней мере одна из предпосылок, на которые опирается парадокс Ольберса, с первого взгляда представляется весьма сомнительной.

Конечно, можно предположить, что звезды распределены в космическом пространстве равномерно, но наблюдения над той частью Вселенной, которая видна с Земли, никак не подтверждают такого предположения.

Все небо опоясывает мягко светящаяся полоса, проходящая через созвездия Орион, Персей, Кассиопея, Лебедь, Орел, Стрелец, Центавр и Киль. Она плохо видна в сиянии ярких огней современных городов, но в без-

лунные ночи где-нибудь в деревенской глуши она удивительно красива.

Древние, которые не знали такого сомнительного (с точки зрения астронома) блага, как электрическое освещение, были прекрасно знакомы с этой светящейся полосой. Она казалась им похожей на молочное облако. Греки называли ее *galaxias kuklos* («молочный круг»), а римляне — *via lactea*, что в буквальном переводе означает «Млечный Путь». Из греческого в наш язык пришло слово «галактика».

В 1610 г. Галилей взглянул в свой примитивный телескоп на Млечный Путь и обнаружил, что это не бесформенное светящееся облако, а огромное скопление чрезвычайно слабых звезд, как, впрочем, и предполагали некоторые философы задолго до изобретения телескопа.

По видимому, можно не сомневаться, что в направлении Млечного Пути располагается гораздо больше звезд, чем во всех других направлениях. Да и наиболее ярких видимых звезд там можно насчитать гораздо больше, чем в любой другой части небосвода. А все это явно противоречит предположению о равномерном распределении звезд в космическом пространстве.

Гершель, занимавшийся систематическим изучением звездного неба, прекрасно знал, что в некоторых направлениях можно насчитать больше звезд, чем в других, но такие чисто качественные оценки его не устраивали. В 1784 г. он решил сосчитать звезды и точно установить, насколько различно их количество на разных участках неба.

Разумеется, сосчитать все звезды на всем небе было практически невозможно, но Гершель решил, что достаточно будет ограничиться выборочным подсчетом. Он выделил в различных частях небосвода 683 точно ограниченные области и в каждой из них сосчитал звезды, видимые в его телескоп. Обнаружилось, что число звезд неуклонно возрастает по мере приближения к Млечному Пути, достигая максимума в плоскости Млечного Пути, и оказывается минимальным, если смотреть под прямым углом к этой плоскости.

Как можно было это объяснить? Быть может, ближе к Млечному Пути звезды случайно располагаются более

тесно? Но почему? Казалось невозможным найти простое объяснение этому неуклонному сгущению звезд. Гершель решил, что гораздо логичнее следующая идея: звезды разделены одинаковыми расстояниями, но пространство, в котором они распределены, не сферично, а потому оно симметрично далеко не во всех направлениях.

Предположим, что звезды равномерно распределены в области, имеющей форму линзы или жернова, и что наше Солнце находится неподалеку от ее центра. Если мы посмотрим вдоль большого диаметра этого жернова, то увидим некоторое число ярких звезд, расположенных вблизи, за ними — огромные скопления далеких, а потому слабых звезд, а за этими скоплениями — еще большие скопления еще более далеких и еще более слабых звезд и т. д. В такой неизмеримой дали уже невозможно будет различать эти бесчисленные звезды по отдельности: все они сольются в бледное молочное сияние и образуют Млечный Путь.

И наоборот, переводя взгляд в сторону, все дальше и дальше от большого диаметра этого жернова, мы будем смотреть сквозь все более разреженные скопления звезд. В этом случае нам будут видны лишь ближайшие яркие звезды, но уже не будет массы далеких звезд, образующей молочное сияние.

Таким образом, согласно Гершелю, все звезды Вселенной образуют конечную звездную систему, которая имеет определенную форму. (Со временем слово «Галактика» стало означать не только видимый Млечный Путь, но и всю эту звездную систему, так что мы говорим о нашем Солнце, как об одной из звезд Галактики.)

Гершель даже попытался примерно определить размеры этой системы, исходя из числа звезд, которые он видел в разных направлениях, а также из предположения, что они располагаются на равных расстояниях друг от друга. Он пришел к выводу, что большой диаметр линзообразной Галактики примерно в 800 раз превышает среднее расстояние между двумя звездами (таким он считал расстояние между Солнцем и Сириусом — и угадал правильно, во всяком случае, для звезд, соседних с Солнцем). Малый диаметр Галактики, по его мнению, был больше этого среднего расстояния в 150 раз.

Таким образом, Гершель считал, что Галактика может содержать 300 000 000 звезд, т. е. в 50 000 раз больше, чем их видно невооруженным глазом. Далее, если принять среднее расстояние между звездами в 10 световых лет (при этом следует помнить, что первые реальные расстояния до звезд были измерены только через 16 лет после смерти Гершеля), то большой диаметр Галактики оказывался равным 8000 световых лет, а малый — 1500 световых лет.

А поскольку Млечный Путь, казалось, опоясывал все небо и повсюду был достаточно ярко, напрашивался вывод, что Солнце находится где-то неподалеку от центра Галактики.

Наблюдения Гершеля и рассуждения Ольберса на целое столетие покончили с идеей о бесконечности Вселенной. Труды астрономов XIX в., все точнее подсчитывавших и наносивших на карту все большее количество звезд, только добавляли новые детали к общей картине, нарисованной Гершелем.

Высшим подвигом астрономов, проводивших трудоемкий визуальный подсчет звезд, было создание звездного атласа «Боннское обозрение», который начал выходить в 1859 г. под руководством немецкого астронома Фридриха Вильгельма Августа Аргеландера (1799—1875), работавшего в Боннском университете. В конце концов в этот атлас были занесены положения полумиллиона звезд.

Однако во второй половине XIX в. с развитием фотографии необходимость визуально определять положение каждой звезды отпала навсегда. Фотография какой-нибудь части звездного неба навеки фиксировала эту часть, после чего звезды можно было спокойно подсчитывать в удобной обстановке.

Особенно много с фотографиями звездных полей работал голландский астроном Якоб Корнелий Каптейн (1851—1922). Как и Гершель, он производил выборочные подсчеты звезд. Но в одном отношении Каптейн пошел дальше. Он предпринял систематические подсчеты звезд каждой звездной величины.

Если число звезд бесконечно, их общее количество должно непрерывно возрастать с каждым последующим

слоем окружающего нас пространства (вспомним рис. 10, иллюстрирующий парадокс Ольберса, см стр 60), поскольку каждый последующий слой больше предыдущего и должен содержать большее количество звезд. А так как более далекие звезды обычно выглядят более слабыми, казалось бы, следовало ожидать непрерывного возрастания числа звезд по мере убывания их яркости.

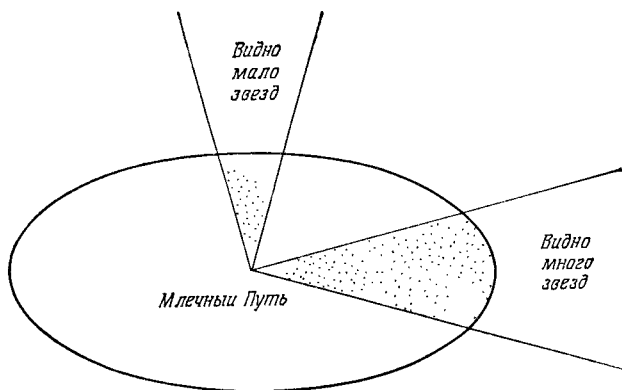


Рис 11 Линзообразная система звезд

Каптеин, однако, обнаружил, что численность звезд самых больших звездных величин, т. е. самых слабых, по сравнению с предыдущими величинами не возрастает, а, наоборот, уменьшается. Это означало, что в наиболее отдаленных слоях звезды начинают редеть, и Каптеин смог определить примерное расстояние до тех последних слоев, где звезды исчезают совсем.

Полученные им результаты подтвердили гипотезу Гершеля о линзообразной Галактике, в центре или около центра которой находится наше Солнце. Однако вычисленные Каптеином размеры Галактики были больше полученных Гершелем. В 1906 г. Каптеин оценил больший диаметр Галактики в 23 000 световых лет, а меньший — в 6000 световых лет. К 1920 г. он еще увеличил эти размеры — соответственно до 55 000 и 11 000 световых лет. Таким образом, объем этой Галактики оказался в 475 раз больше объема Галактики Гершеля.



## Движущееся Солнце

Нарисованная Гершелем картина Вселенной нанесла еще один удар по представлению человека о собственной значимости.

В древности человек был склонен считать себя буквально средоточием Вселенной. Вселенная была не только геоцентрической, так как неподвижным центром всего сущего была Земля — родина человека, она была также антропоцентрической, так как мерилом всего сущего был человек.

Когда Коперник завершил свой труд и созданная им гелиоцентрическая теория была мало-помалу принята повсеместно, поддерживать идею о первостепенной важности человека стало не так-то легко. Ведь он обитал всего лишь на планете — на одной из многих планет, и его планета к тому же отнюдь не была ни самой большой, ни самой прекрасной. Земля была несравненно меньше Юпитера, а красотой далеко уступала Сатурну.

Тем не менее для астрономов XVII и XVIII столетий Солнце оставалось неподвижным центром Вселенной, а Солнце все-таки было наше! Оно было источником света, тепла и жизни на Земле.

И все же по мере того, как представление о твердом небесном куполе утрачивало свои позиции, начинало казаться, что Солнцу не может принадлежать столь уж главенствующая роль во Вселенной. Если звезды рассеяны по необозримому пространству, а Солнце — всего лишь заурядная звезда, то и оно, пожалуй, так же не обязательно должно быть центром Вселенной, как и сама Земля.

Более того, если принять Галактику таких размеров, какие были предложены Гершелем, — Галактику, населенную сотнями миллионов звезд, — то становилось просто неловко всерьез утверждать, что наше Солнце занимает какое-то особое положение среди такого множества небесных тел, рассеянных в таком огромном пространстве.

Собственное движение обнаруживалось у все большего числа звезд, и тем не менее не было никаких данных,

которые свидетельствовали бы о том, что звезды обращаются вокруг Солнца. Характер собственного движения звезд казался случайным, и все более напрашивался вывод, что всем звездам свойственно такое более или менее беспорядочное движение (как у пчел в большом рое), а если у той или иной звезды собственного движения не обнаружено, то либо она так далека от нас, что для обнаружения ее перемещения требуются столетия, либо она движется прямо к нам или от нас, так что мы не можем заметить никакого поперечного движения.

Но если так, то логика подсказывала, что и Солнце тоже должно двигаться. Почему бы оно одно сохраняло неподвижность во Вселенной движущихся звезд? К такому заключению пришел в 1783 г. Гершель и попробовал определить, каково может быть направление движения Солнца.

Предположим, что Солнце окружено звездами, равномерно распределенными в пространстве. В этом случае будет казаться, что ближайшие к нему звезды разделены большими расстояниями, а дальние расположены гораздо теснее. То же явление мы можем наблюдать, глядя на ровные ряды садовых деревьев или на людей, стоящих в шеренгах и колоннах. Это — обычное свойство перспективы.

Следовательно, если бы какая-то группа звезд, не изменяя своего взаимного расположения, приблизилась к Солнцу, у нас создалось бы впечатление, что расстояния между звездами этой группы увеличились. Таким образом, приближаясь к нам, они как будто расходились бы. С другой стороны, если бы группа удалялась, нам казалось бы, что составляющие ее звезды сближаются.

Значит, если бы Солнце перемещалось в Галактике, звезды, расположенные впереди по направлению его движения, в общем приближались бы к нему и, следовательно, казались бы расходящимися. (Это явление отчасти должно маскироваться тем, что сами звезды отнюдь не находятся в покое, но обладают собственным движением и перемещаются в самых различных направлениях, и все же его можно было бы заметить.) Звезды, находящиеся позади Солнца, в общем удалялись бы от

него и, следовательно, сближались бы друг с другом. И наконец, звезды, расположенные под прямым углом к направлению движения Солнца, обладали бы наибольшим собственным движением — преимущественно в направлении, противоположном движению Солнца.

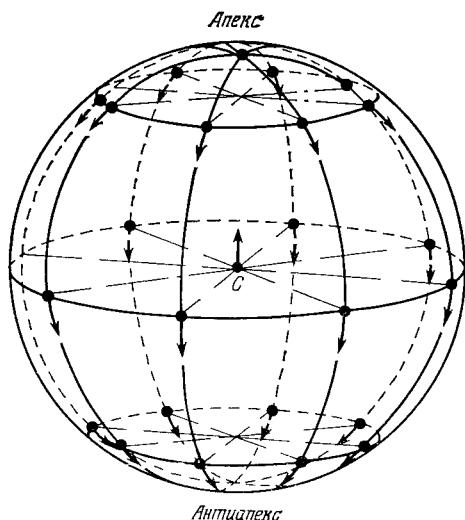


Рис. 12. Движение Солнца

Во времена Гершеля было определено собственное движение лишь очень немногих звезд, но даже и по этим скудным данным Гершель на основе приведенных выше рассуждений смог установить, что Солнце действительно движется — что оно движется по направлению к некой точке в созвездии Геркулеса.

Его предположение оказалось близким к истине. За полтора столетия, прошедших со дня смерти Гершеля, астрономы определили собственное движение многих звезд, однако они и теперь помещают апекс (точку, по направлению к которой, по-видимому, движется Солнце) не так уж далеко от места, указанного Гершелем. Согласно самым последним наблюдениям, эта точка находится в

созвездия Лиры, соседнем с созвездием Геркулеса. Солнце движется к апексу со скоростью 20 км/сек относительно ближайших звезд.

### **Звездные скопления**

Итак, тот факт, что в созданной Гершелем и Каптейном модели Галактики Солнце располагалось в самом центре или вблизи от него, не имел особого значения. Это была простая случайность. Если бы человечество проводило соответствующие астрономические наблюдения в иную эпоху — в далеком прошлом или в далеком будущем, — Солнце могло бы оказаться вблизи того или иного конца Галактики.

Человеческому тщеславию не слишком приятна мысль, что Солнце (а следовательно, и Земля, и сам человек) оказалось в центре всего сущего лишь случайно. Но даже и такая уверенность заметно пошатнулась, когда в первые два десятилетия XX в. Каптейн уточнил последние детали своей модели Галактики.

Сомнения в правильности модели Гершеля—Каптейна возникли из-за данных, полученных в результате наблюдений не столько за отдельными звездами, сколько за группами звезд.

Даже невооруженным глазом можно легко обнаружить существование подобных групп. Наиболее заметная из них — Плеяды, небольшое скопление умеренно ярких звезд в созвездии Тельца. В этом скоплении девять звезд, достаточно ярких для того, чтобы их можно было увидеть невооруженным глазом, но некоторые из них расположены так близко друг к другу, что их трудно различить по отдельности. Человек с нормальным зрением видит их шесть или семь (это скопление иногда называют еще «Семь Сестер»).

Когда Галилей в 1610 г. навел свой телескоп на Плеяды, он без труда насчитал в этой группе 36 звезд; современные фотографии показывают их не меньше 250, всего же там должно быть приблизительно 750 звезд.

Плеяды — это не группа звезд, находящихся от нас на самых различных расстояниях и лишь случайно оказавшихся на одном луче нашего зрения; нет, это настоя-

щее звездное скопление. Бессель доказал это в 1840 г., когда обнаружил, что члены этого скопления обладают собственным движением в 5", 5 в столетие и движутся в одном направлении. Если бы это были ничем не связанные между собой звезды, то такое совпадение направления и скорости движения оказалось бы слишком уж невероятным.

По оценке астрономов, среднее расстояние между звездами в Плеядах втрое меньше среднего расстояния между звездами соседних с нами районов. Вся группа, как теперь известно, находится от нас на расстоянии в 400 световых лет и занимает область диаметром примерно в 70 световых лет.

Хотя Плеяды — наиболее красивое из звездных скоплений, видимых невооруженным глазом, они дают лишь очень слабое представление о великолепном зрелище, которое можно увидеть в телескоп.

Сам того не зная, французский астроном Шарль Мессье (1730—1817) столкнулся с этими гигантскими скоплениями, занимаясь поисками куда более мелких небесных тел. Мессье был охотником за кометами и за свою жизнь открыл их не так уж мало. Но его очень раздражали «косматые» небесные объекты, которые были совершенно неподвижны и вовсе не являлись кометами. В 1781 г. он тщательно нанес на карту около 40 таких объектов, чтобы в дальнейшем и он сам, и другие охотники за кометами, зная их местоположение, могли спокойно не обращать на них внимания. Впоследствии Мессье и некоторые другие ученые довели список этих объектов до 100.

Среди них, например, был один «косматый», расплывчатый звездopodobный объект, который впервые наблюдался Галлеем в 1714 г. В списке Мессье он значится тринадцатым, а потому его иногда называют М 13. Когда несколько десятилетий спустя Вильям Гершель начал изучать М 13, пользуясь гораздо более совершенным телескопом, чем тот, который был в распоряжении Мессье, он обнаружил, что смотрит не на расплывчатое светлое пятнышко, а на очень густое скопление звезд.

Плеяды — это группа относительно широко разбросанных звезд, и потому они получили название рассеян-

ного скопления, но объект М 13 был шаром из тесно расположенных звезд и потому его называли шаровым скоплением. Так как М 13 находится в созвездии Геркулеса, его теперь нередко называют Большим скоплением Геркулеса. Шаровое скопление состоит не из сотен, а из тысяч звезд. В Большом скоплении Геркулеса их сосчитано свыше 30 000, а общее их число должно намного превышать 100 000 и, возможно, приближается к миллиону. Вблизи центра скопления средние расстояния между звездами должны быть значительно меньше одного светового года.

И это — не единственное шаровое скопление. В списке Мессье их было еще несколько, в том числе М 3 в созвездии Гончих Псов и М 22 в созвездии Стрельца. Всего известно около 100 таких шаровых скоплений.

Как ни странно, шаровые скопления распределяются по небосводу отнюдь не равномерно — впервые на это обратил внимание в начале XIX в. Джон Гершель (1792—1871), сын знаменитого Вильяма Гершеля и сам известный астроном.

Почти все шаровые скопления расположены в одном небесном полушарии, и, более того, треть их сосредоточена в одном созвездии Стрельца, которое занимает лишь 2% всего небосвода. Джон Гершель считал, что этот факт не может быть случайным и должен иметь какое-то значение.

Но каково значение этого факта, астрономам так и не удалось установить до конца XIX в. — отчасти потому, что им не было известно истинное положение этих шаровых скоплений в пространстве. Они находились так далеко, что у них не могло быть измеримого параллакса, а вплоть до XX в. других способов определять межзвездные расстояния не существовало.

## **Переменные звезды**

Правильное разрешение проблемы шаровых скоплений было найдено в начале XX в. с помощью определенного типа переменных звезд (переменной называется звезда, яркость которой периодически меняется).

История переменных звезд удивительно коротка — особенно если учесть, что заметные колебания блеска наблюдаются у некоторых звезд, достаточно ярких для того, чтобы их можно было видеть невооруженным глазом. От астрономов древности до нас не дошло никаких упоминаний об этих изменениях блеска. Наоборот, выраженное Аристотелем мнение греков сводилось к тому, что на небесах все вечно и неизменно. Однако эта авторитетнейшая официальная точка зрения не могла изменить того факта, что переменные звезды существуют и самым своим существованием доказывают, что и на небесах происходят изменения.

Наиболее известная из переменных звезд, видимых простым глазом, — это Бета Персея (вторая по яркости звезда в созвездии Персея). Ослабления и усиления ее блеска заметны вполне отчетливо. Каждые трое суток без трех часов (двое суток и 21 час) ее яркость быстро падает на короткое время на целую звездную величину, а затем с такой же скоростью вновь возрастает.

Ни греки, ни арабы (лучшие астрономы раннего Средневековья) не упоминают об этом явлении, хотя, возможно, некоторые наблюдатели замечали его и оно вызывало у них большую тревогу. Греки в своих красочных описаниях этого созвездия помещали Бету Персея в голову Медузы, которую держит Персей. Медуза была чудовищем в образе женщины с живыми змеями вместо волос и таким ужасным лицом, что при взгляде на него люди и животные превращались в камень. Поэтому Бету Персея иногда называли «Глазом демона» — видимо, ей приписывали какие-то зловещие свойства. Да и ее арабское название «Алголь» (вурдалак) явно намекает на что-то жуткое.

В 1782 г. английский астроном Джон Гудрайк (1764—1786), изучая Алголь, высказал предположение, что вокруг него обращается какая-то слабая звезда, орбита которой лежит примерно в одной плоскости с Землей. При каждом своем обороте вокруг Алголя эта звезда проходит между ним и Землей, перехватывая часть его света. В то время к гипотезе Гудрайка отнеслись пренебрежительно, но с тех пор дополнительные данные почти несомненно доказали ее справедливость. Теперь

Алголь — общепринятый пример затменной двойной звезды. Свет Алголя на самом деле вовсе не усиливается и не ослабевает — просто на его пути периодически возникает препятствие.

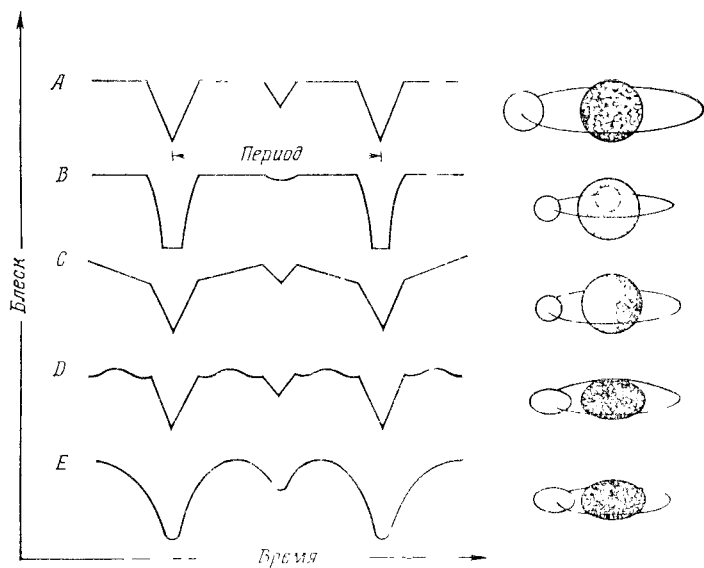


Рис. 13. Кривые блеска затменных двойных звезд

Колебания света, возникающие в результате таких затмений, никак не связаны с внутренним строением или собственными свойствами данной звезды. Если бы спутник Алголя обращался вокруг него в другой плоскости и не оказывался бы на пути его света к Земле, Алголь не был бы переменной звездой.

Совсем по-иному обстоит дело со звездой Омикрон Кита, расположенной в созвездии Кита. Впервые она была изучена в 1596 г. немецким астрономом Давидом Фабрициусом (1564—1617). В момент максимального блеска эта звезда достигает второй величины, а в момент минимума она невидима невооруженным глазом. Поэто-



му она получила название «Мира» (удивительная). Период изменения ее блеска равен примерно 11 месяцам — другими словами, моменты максимального блеска наступают у нее примерно через 11 месяцев. Для переменной звезды это довольно длинный период, и поэтому Мира относится к классу долгопериодических переменных звезд.

В отличие от Алголя Мира — настоящая переменная звезда. Астрономы пришли к заключению, что она на самом деле становится то слабее, то ярче. Поэтому ее относят к классу физических переменных.

В качестве другого примера физической переменной можно назвать Дельту Цефея — четвертую по яркости звезду этого созвездия. Она сильно отличается от Мира. Во-первых, период ее изменений гораздо короче — он равен 5,37 суток; а во-вторых, этот период постоянен.

Были открыты и другие переменные звезды, сходные с Дельтой Цефея, — все они обладают короткими и строго постоянными периодами изменений. Длительность их периодов колеблется от 2 до 45 суток, причем обычная длительность периода их колебаний — около недели. У всех у них наблюдается довольно характерная картина усиления и ослабления блеска, и все эти звезды объединяются в один общий класс цефеид — по названию первой изученной звезды такого типа.

Хотя цефеиды были весьма любопытными звездными диковинками, вначале казалось, что принципиального интереса они не представляют. Однако положение мгновенно изменилось, когда в 1912 г. американский астроном Геприэтта Суан Ливитт (1868—1921) начала открывать и систематически изучать сотни цефеид в Малом Магеллановом Облаке.

Малое Магелланово Облако — это одно из двух светящихся пятен (второе называется Большим Магеллановым Облаком), которые выглядят как изолированные клочки Млечного Пути. Они расположены так далеко на юге, что в средних широтах северного полушария не видны. Впервые их описал один из участников кругосветного плавания Магеллана, чем и объясняется их название.

Магеллановы Облака были впервые подробно изучены только в 1834 г., когда Джон Гершель наблюдал их

из обсерватории на мысе Доброй Надежды. Подобно Млечному Пути, они представляют собой скопления огромного числа слабых звезд — слабых, по-видимому, из-за дальности расстояния.

И действительно, Облака находятся от нас так далеко, что разницу в расстоянии до звезд их ближнего и дальнего края можно вообще не принимать во внимание. Так, мы можем сказать, что все жители Чикаго находятся примерно на одном расстоянии от Таймс-Сквер в Нью-Йорке. Конечно, обитатели восточных районов Чикаго чуть ближе к нему, чем обитатели западных, но разница настолько мала, что не имеет значения по сравнению с общим расстоянием, разделяющим эти два города.

Итак, можно считать, что все звезды, и в частности все цефеиды Малого Магелланова Облака находятся от нас на одинаковом расстоянии. Если одна цефеида в этом Облаке кажется нам ярче другой, это может объясняться лишь тем, что она действительно ярче, т. е. обладает большей светимостью, чем та, с которой мы ее сравниваем. И можно не опасаться, что нас собьет с толку случайная разница в яркости, вызванная тем, что одна из этих звезд гораздо ближе к нам, чем другая.

Изучая цефеиды Малого Магелланова Облака, Генриетта Ливитт заметила, что чем ярче цефеида, тем длиннее ее период. Цефеида в Облаке, обладавшая звездной величиной 15,5, имела период в двое суток, цефеида с величиной 14,8 имела период в пять суток, а с величиной 12,0 — сто суток. По-видимому, между светимостью и периодом цефеиды существовала какая-то правильная зависимость.

Но такая же правильная зависимость должна была бы существовать и у цефеид, расположенных поблизости от нас, а не только у цефеид Магеллановых Облаков. (Ученые, как правило, предпочитают исходить из того, что закономерность, обнаруженная для определенного места или при определенных условиях, остается верной и для другого места и других условий — во всяком случае, до тех пор, пока они не убедятся в обратном.) Так почему же она никак не проявлялась?

Трудность заключается в том, что период связан со светимостью, а светимость звезд, расположенных ближе

к нам, чрезвычайно трудно определить из-за влияния расстояний. Цефеида с очень большой светимостью и длинным периодом может находиться так далеко, что кажется слабой, в то время как цефеида с заметно меньшей светимостью и коротким периодом, но расположенная ближе к нам, кажется яркой. В этом случае создается впечатление, что слабые звезды могут обладать длинным периодом, а яркие — коротким. В результате разница расстояний вносит такую путаницу, что может показаться, будто между видимой яркостью и периодом вообще нет никакой связи. Впрочем, такой связи и в самом деле не существует. Связь существует между светимостью и периодом, а по видимой яркости звезды судить о ее реальной светимости невозможно, если только нам не известно расстояние до этой звезды.

К несчастью, в 1912 г. не было известно расстояние ни до одной цефеиды. Определять расстояния тогда можно было только с помощью измерения параллакса, а у этого метода есть свои ограничения. Чем дальше звезда, тем меньше ее параллакс и тем труднее его измерить. Даже в наши дни параллактический метод применим только для расстояний не свыше 100 световых лет, а все цефеиды находятся от нас гораздо дальше. До ближайших из них не меньше 300 световых лет.

Генриетта Ливитт обнаружила взаимосвязь между светимостью и периодом у цефеид Малого Магелланова Облака не потому, что знала расстояние до него, а потому, что разница расстояний в пределах Облака не имела значения. Видимая яркость звезд, находящихся внутри Облака, прямо пропорциональна их светимости, и поэтому связь между светимостью и периодом проявлялась в виде легко наблюдаемой связи между яркостью и периодом.

Однако, когда эта закономерность была открыта, ее уже можно было применять и к звездам, расположенным поблизости от нас, и использовать ее для измерения расстояний, намного превосходящих те, для которых применим метод параллакса.

Предположим, например, что у двух цефеид наблюдается одинаковый период, но одна из них кажется ярче другой. Поскольку их периоды равны, светимость у них

должна быть одинакова и, следовательно, кажущаяся разница в яркости объясняется разницей расстояний до них. Исходя из различия в их видимой яркости, легко можно было рассчитать, во сколько раз одна цефеида дальше, чем другая.

Если две цефеиды имеют различные периоды, можно вычислить разность их светимостей. Разница же в видимой величине может быть прямо измерена, а располагая этими данными, нетрудно рассчитать соотношение расстояний до них.

Такое определение относительных расстояний дало бы только возможность сравнивать масштабы отдельных участков Вселенной (как прежде законы Кеплера дали такую возможность для солнечной системы), но не находить абсолютные расстояния. Однако и это было уже очень ценно.

В годы, последовавшие за открытием Генриэтты Ливитт, американский астроном Харлоу Шепли (род. в 1885 г.) использовал цефеидный масштаб для изучения шаровых скоплений. В каждом таком скоплении имелись цефеиды. Измерив их периоды, Шепли мог определить их относительную светимость. Сопоставляя ее с их видимой яркостью, он мог определить их относительные расстояния, а значит, и относительные расстояния до шаровых скоплений, частью которых они являются.

Проделав все это, он обнаружил, что шаровые скопления, по-видимому, располагались сферически. Они слагались в гигантский шар, центр которого находился в направлении созвездия Стрельца. Земные астрономы смотрели на эту сферу шаровых скоплений извне, причем с такого огромного расстояния, что все это образование занимало лишь относительно небольшую часть небосвода в созвездии Стрельца и около него.

Чем же объясняется именно такое расположение шаровых скоплений? Шепли считал логичным предположение, что эти скопления группируются вокруг центра тяжести Галактики, как планеты группируются вокруг Солнца, центра тяжести солнечной системы. В таком случае центр Галактики расположен очень далеко от Солнца и мы находимся на окраине Галактики, а вовсе не в середине ее.

Если бы нам было известно абсолютное расстояние, отделяющее нас от шаровых скоплений, то мы могли бы определить, где находится центр Галактики, на какой далекой окраине мы находимся и т. д. Если бы нам было

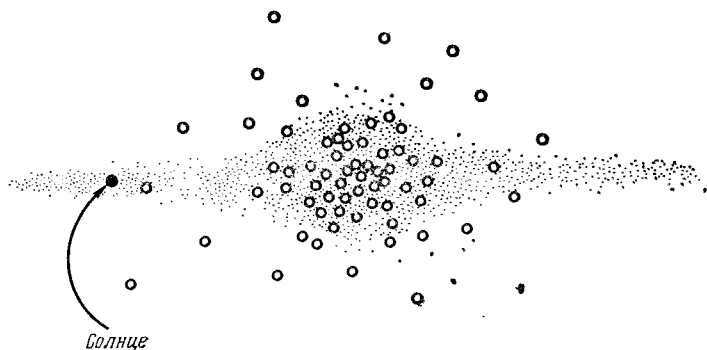


Рис 14 Распределение шаровых скоплений

известно абсолютное расстояние хотя бы до одной цефеиды, то все остальные расстояния уже можно было бы вычислить и проблема реальных размеров Галактики (а может быть, и Вселенной, если Вселенная исчерпывается Галактикой) была бы решена.

Но как измерить расстояния до цефеид, если ни одна из них не расположена достаточно близко, чтобы можно было измерить ее параллакс?

Для того чтобы объяснить метод, с помощью которого Шепли обошел эту чисто случайную трудность, мне придется сделать довольно длинное отступление и вернуться на три четверти века назад.

# Размеры Галактики

## *Эффект Доплера*

Те из нас, кто жил во времена, когда поезда были более распространенным средством сообщения, чем сейчас, знают, что гудок приближающегося поезда имеет более высокий тон, чем гудок поезда, неподвижного по отношению к нам <sup>1)</sup>. Если же поезд удаляется от нас, тон гудка будет ниже, чем был бы, если бы поезд был неподвижен по отношению к нам. Если мы ждем на платформе, а мимо нас, гудя, без остановки проносится поезд, тон его гудка внезапно понижается.

Точное объяснение этому явлению дал в 1842 г. австрийский физик Христиан Йоганн Допплер (1803—1853).

Начнем с того, что звук — это ряд сжатий и разрежений воздуха. Расстояние от одной области сжатия до другой — это длина звуковой волны. Чем больше длина волны, тем ниже звук, который мы слышим; чем волна короче, тем звук выше.

Предположим, что паровоз неподвижен по отношению к нам и издает звук одной и той же высоты. Возникшая в нем область сжатия распространяется во все стороны, вслед за ней возникает вторая такая же область, потом третья и т. д. Эти области сжатия разделены какими-то одинаковыми расстояниями.

---

<sup>1)</sup> Чтобы быть неподвижным по отношению к нам, поезд вовсе не обязательно должен совсем не двигаться. Если поезд движется, а мы находимся в его вагоне, он по отношению к нам неподвижен. Если он не разгоняется, не тормозит и не поворачивает, а движется с постоянной хотя бы и очень большой скоростью, мы можем ходить по вагонам так, словно поезд неподвижен. Да он и действительно неподвижен по отношению к нам, хотя и движется по отношению к окружающей нас местности.

Если же поезд и его гудок приближаются к нам, то вторая область сжатия возникает несколько ближе к нам, чем первая. Поезд продвинулся вперед вслед за убегающей первой областью сжатия, так что вторая область сжатия оказывается чуть ближе к первой, чем оказалась бы, если бы поезд не двигался. То же самое происходит и с третьей областью сжатия, и с четвертой и т. д. До тех пор пока поезд приближается к нам, он движется вдогонку за звуковыми волнами, и области сжатия располагаются соответственно чаще, чем в том случае, когда поезд неподвижен. Длина звуковой волны, таким образом, оказывается меньше, и тон гудка становится выше по сравнению с гудком неподвижного поезда.

Когда же поезд удаляется от нас, возникает обратная картина. Вторая область сжатия возникает дальше от нас и от первой области сжатия, третья область — еще дальше и т. д. Следовательно, длина звуковой волны удаляющегося гудка больше и тон его ниже, чем у гудка неподвижного поезда.

Чем быстрее приближается к нам поезд, тем ближе друг к другу располагаются звуковые волны и тем выше тон его гудка; чем быстрее он удаляется от нас, тем дальше друг от друга звуковые волны и тем ниже тон его гудка. Зная нормальный тон гудка и тон, который мы слышим, мы можем без каких либо дополнительных данных определить, приближается ли к нам поезд или удаляется от нас и с какой скоростью.

Это изменение тона под влиянием движения источника звука называется в честь открывшего это явление физика эффектом Доплера.

## Спектр

Теоретически тот же эффект должен наблюдаться у любых волн, расходящихся от какого-либо источника, и, в частности, как указал сам Доплер, он должен иметь место и у света.

Свет, как и звук, — это тоже волны (хотя и иного типа). Свет тоже обладает разными длинами волн, и разница в длине этих волн тоже воспринимается с помощью нашего органа чувств, но уже как разница в

цвете. Наиболее длинные из видимых световых волн воспринимаются нами как красные. По мере уменьшения длины волны цвет меняется на оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый — в указанном порядке. Разумеется, между цветами нет резкой границы и они переходят один в другой постепенно. Такое явление мы наблюдаем и в природе — это радуга.

Первым подробно изучил искусственную радугу Исаак Ньютон. В 1666 г. Ньютон пропустил в затемненную комнату через дырочку в ставне солнечный луч, а затем поставил на его пути треугольный кусок стекла — призму. Пройдя через призму, солнечный луч преломился и упал на противоположную стену в виде вытянутой полоски, слагавшейся из цветов радуги. Ньютон назвал эту цветовую полосу спектром.

Таким способом Ньютон доказал, что солнечный свет не является чем-то чистым, однородным и единым. Ведь если бы это было так, весь луч преломился бы в призме совершенно одинаково и упал бы на стену белым пятном той же величины, что и до прохождения через призму. А вместо этого он оказался смесью разных световых лучей, каждый из которых преломлялся в призме под несколько иным углом и воспринимался нашим зрением как другой цвет. Смесь всех этих лучей в той пропорции, в какой они содержатся в солнечном свете, воспринимается нами как белый цвет.

Теперь мы знаем, что разные световые лучи в солнечном свете отличаются друг от друга длиной волны. Степень, в которой световой луч преломляется стеклом, зависит от длины его волны — чем короче волна, тем сильнее преломление. Оранжевый свет преломляется сильнее, чем красный, желтый — сильнее, чем оранжевый, и т. д. Сильнее всех из них преломляется фиолетовый свет. В полученном спектре красный цвет оказывается на конце наименьшего преломления — на том конце, который ближе всего к направлению первоначального, непреломленного светового луча. Фиолетовый цвет оказывается на противоположном конце.

Внутри любого из остальных цветов, например в оранжевом, часть его с наиболее длинными волнами, почти красная, располагается ближе к красному концу



спектра, а часть с самыми короткими волнами, почти желтая, — ближе к фиолетовому концу спектра.

А теперь попробуем применить к свету эффект Доплера.

Солнце в целом не приближается к Земле и не удаляется от нее. При этом содержащуюся в его спектре смесь цветов мы воспринимаем как белый цвет. Но нельзя ли предположить, что если бы Солнце приближалось к нам, то световые волны сблизились бы и каждая достигающая нас световая волна была бы короче, чем при нормальных обстоятельствах? Во всем спектре произошел бы сдвиг к коротковолновому концу. Каждый участок красной полосы сдвинулся бы в сторону оранжевой. Каждый участок оранжевой сдвинулся бы соответственно в сторону желтой и т. д. Так как общий сдвиг был бы направлен к фиолетовому концу спектра, то он называется фиолетовым смещением.

При этом можно было бы ожидать, что смесь всех цветов в спектре уже не останется чисто белой. В красном конце возникла бы нехватка, а в фиолетовом — избыток, и цвет Солнца (если бы оно приближалось к нам) принял бы голубоватый оттенок. И, согласно такому рассуждению, чем быстрее оно приближалось бы к нам, тем синее становился бы его цвет.

С помощью такого же рассуждения можно было бы предсказать, что произошло бы, если бы Солнце удалялось от нас. В этом случае гребни сменяющих друг друга световых волн раздвинулись бы. Световые волны стали бы длиннее нормальных, и весь спектр сместился бы в сторону красного его конца — произошло бы красное смещение. Мы могли бы сказать, что, если бы Солнце удалялось от нас, его свет принял бы оранжевый оттенок. И чем быстрее оно удалялось бы от нас, тем более оранжевым становился бы его свет.

И все же, как ни логично такое рассуждение, факты его не подтверждают. Беда в том, что тот свет, который мы видим в спектре, вовсе не исчерпывает всего спектра.

В 1800 г. Вильям Гершель занялся изучением спектра солнечного света (солнечного спектра). Он наблюдал, как нагревается термометр, помещаемый в различные

части спектра, измеряя таким образом общее содержание энергии в каждой из этих частей. Было бы естественно ожидать, что по мере приближения к концу спектра температура будет подниматься меньше, а потом и вовсе перестанет повышаться. Однако с красным концом дело обстояло иначе: за красным концом спектра температура оказалась выше, чем где-либо на всем протяжении видимого спектра.

Гершель высказал предположение, что солнечный свет включает более длинные световые волны, чем те, которые способно воспринимать наше зрение. Такие волны преломлялись бы меньше, чем волны красного света, и располагались бы за красным концом спектра. Это было бы инфракрасное излучение («ниже красного»).

Такое излучение вполне реально и отличается от обычного света только длиной своих волн и тем, что человеческий глаз его не воспринимает. Таким образом, после 1800 г. для определения того явления, благодаря которому мы обладаем зрением, уже нельзя было говорить просто «свет» — нужно было говорить «видимый свет». «Невидимый свет» перестал быть соединением несоединимых понятий, а оказался реальным фактом (теперь инфракрасный свет легко обнаруживается соответствующими приборами, хотя по-прежнему остается невидимым для глаза).

И фиолетовый конец спектра также не был его истинным концом. В 1801 г. немецкий физик Иоганн Вильгельм Риттер (1776—1810) изучал способность света вызывать некоторые химические реакции. Например, свет мог вызывать распад белого химического соединения — хлористого серебра, — высвобождая крохотные частицы металлического серебра. Мелкие частицы металла обычно кажутся черными, и поэтому хлористое серебро, подвергавшееся воздействию света, постепенно темнело. Риттер установил, что под влиянием различных участков солнечного спектра это изменение протекает по-разному. Чем короче были световые волны, тем быстрее темнело хлористое серебро. Памятуя об открытии, которое сделал Гершель за год до этого, Риттер проверил и область за фиолетовым концом спектра, где не было видно уже никакого света. И хлористое серебро

потемнело при этом гораздо быстрее, чем под воздействием любого участка видимого спектра.

Из этого следовало, что в солнечном свете имеются волны более короткие, чем те, которые воспринимаются нашим зрением. Такие волны должны были преломляться еще сильнее, чем волны фиолетового свеха, и распола-

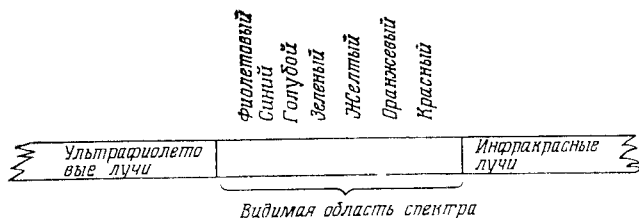


Рис 15 За видимой областью спектра

гаться за фиолетовым концом спектра. Это было ультрафиолетовое излучение («за фиолетовым»).

Таким образом, мы должны отчетливо представлять себе, что спектр солнечного света (и света других звезд) состоит не только из цветов от красного до фиолетового, но и из невидимых областей спектра, лежащих за красным и фиолетовым его концами. Если звезда приближается к нам, волны ее света укорачиваются и ее спектр претерпевает фиолетовое смещение. Но в этом случае свет вовсе не «накапливается» на фиолетовом конце. Вместо этого он «выплескивается» за этот конец, переходя в область невидимого ультрафиолетового света. Не образуется в результате этого смещения и пустоты у красного конца спектра. Инфракрасное излучение благодаря сокращению длины волн превращается в видимый красный свет и заполняет пустоту.

Весь спектр в целом смещается. Но его видимая часть при этом не изменяется. То, что теряется у одного конца, возмещается у другого. То же самое произойдет и в том случае, если звезда удаляется от нас, что вызовет общее красное смещение спектра.

Разумеется, какая-нибудь звезда могла бы приближаться к нам так быстро, что вся инфракрасная часть ее

спектра переместилась бы в видимую область, или она могла бы удаляться от нас с такой скоростью, что в видимую часть спектра сместилась бы вся ультрафиолетовая область. В этом случае действительно произошел бы видимый сдвиг цвета в сторону фиолетового или красного. Однако скорости приближения или удаления, необходимые для подобного изменения цвета, настолько велики, что казалось невероятным (во всяком случае, в XIX в.), чтобы они могли быть обнаружены у каких-либо небесных тел.

Тем не менее среди звезд существуют различия в цвете. Некоторые звезды, например Антарес, явно красноватого цвета, другие, вроде Веги, столь же явно голубоваты. Не означает ли это, что Антарес очень быстро удаляется от нас или что Вега очень быстро к нам приближается?

К несчастью, нет. Есть другие причины, которыми могут объясняться эти различия в цвете.

Так, Солнце краснеет на закате, хотя в этот момент оно вовсе от нас не удаляется. Просто в это время его свет проходит через необычно большую толщу атмосферы, и ее молекулы и пылевые частицы сильнее отражают и рассеивают солнечный свет. Короткие световые волны рассеиваются легче, чем длинные. Синий цвет дневного неба объясняется именно рассеянными лучами, принадлежащими к коротковолновой части спектра. Когда Солнце стоит высоко, синих лучей рассеивается недостаточно для того, чтобы это могло оказать заметное влияние на окраску солнечного света. Однако по мере того, как Солнце приближается к горизонту, из-за большей толщины пыльной атмосферы, через которую должны проходить его лучи, рассеивается и удаляется из солнечного света уже столь значительная часть коротковолновой области спектра, что остающаяся часть приобретает отчетливые красные оттенки<sup>1)</sup>.

Кроме того, всякое светящееся вещество меняет свой цвет при изменении температуры. Если постепенно нагревать железный шарик, он в конце концов нагреется

---

<sup>1)</sup> Заходящее Солнце краснее, чем восходящее, потому что в конце дня пыли в воздухе обычно больше, чем в начале.

настолько, что станет темно-красным. Если его температура будет еще повышаться, он станет ярко красным, затем оранжевым, затем белесым и, наконец, голубовато-белым. Чем выше температура, тем больше будет смещаться его цветовая гамма в направлении более коротких волн; однако такое смещение отнюдь не будет означать, что шарик приближается к нам или удаляется от нас.

И наконец, цвет может меняться в зависимости от химического состава. Если предмет светит отраженным светом, это очевидно. Различные краски и различные пигменты отражают свет различных цветов. Но даже когда вещество само испускает свет, а не просто его пассивно отражает, цвет этого света может зависеть от химического состава этого вещества. Если обыкновенную поваренную соль (соединение металла натрия) накалить настолько, чтобы она начала светиться, ее свет будет иметь явно выраженный желтый оттенок. Нагретое соединение стронция испускает красный свет, бария — зеленый, калия — фиолетовый и т. д.

Следует ли из этого, что, несмотря на существование эффекта Доплера, свет звезды не дает нам никакой возможности узнать что-нибудь о ее движении? Вовсе нет. На самом деле положение даже лучше, чем можно было бы предполагать. Исследование спектров звезд помогает определить не только их движение, но и многие иные свойства. Спектр — это не только радуга цветов, это нечто гораздо большее.

## *Спектральные линии*

В 1814 г. немецкий оптик Иозеф Фраунгофер (1787—1826) совершил переворот в изучении спектров. Он изготовлял призмы из прекрасного стекла и проверял их качество по их способности разлагать свет. Продолжая исследования, начатые английским химиком Вильямом Хайдом Волластоном (1766—1828), Фраунгофер прежде, чем пропустить луч через призму, заставлял его пройти через узкую щель. Каждый луч света с определенной длиной волны преломлялся в призме под своим характерным углом и рисовал изображение щели своим собст-

венным цветом на том месте экрана, на которое он падал. Многочисленные изображения соприкасались и сливались друг с другом, создавая почти непрерывный радужнообразный спектр.

Спектр, однако, не был совершенно непрерывным, потому что в солнечном спектре отсутствовали некоторые волны определенной длины, и это отсутствие волн проявлялось в спектре в виде темных линий — так сказать, в виде отсутствия изображения щели. Такие темные линии в солнечном спектре обнаружил еще Волластон, но прекрасные призмы Фраунгофера сделали их гораздо более четкими и показали гораздо большее их количество — целые сотни. Фраунгофер первый подробно изучил эти темные линии и отметил их точное положение в спектре. Поэтому их называют фраунгоферовыми линиями или, чаще, спектральными линиями поглощения.

Система фраунгоферовых линий солнечного спектра обладает четкими и постоянными особенностями. В спектрах других самосветящихся объектов, например звезд, тоже имеются темные линии, но системы этих темных линий заметно отличаются от системы солнечного спектра. Тем не менее некоторые спектральные линии, особенно наиболее заметные, которые Фраунгофер обозначил буквами латинского алфавита от А до К, встречаются, словно вехи, в спектрах большинства звезд.

Можно измерить длину волны, соответствующей каждой спектральной линии, измеряя ее угол преломления; а это можно сделать, точно установив ее положение на экране по сравнению с эталонной шкалой. Если по какой-либо причине длина волны, соответствующая данной спектральной линии, уменьшается, угол ее преломления становится больше и линия сдвигается в сторону фиолетового конца спектра. Если же длина волны увеличивается, линия сдвигается в сторону красного конца спектра.

Вскоре после того, как Допплер объяснил изменение тона звука при движении его источника, французский физик Арман Ипполит Луи Физо (1819—1896) указал, что для обнаружения этого эффекта в световом луче вовсе незначительно изучать цвет, а достаточно отметить точное положение спектральных линий и измерить их смещение.

Чтобы лучше понять, почему это так, представьте себе длинный гладкий стержень, концов которого вы не видите. Если этот стержень слегка подвинуть, мы увидим другую его часть, но, поскольку на нем нет никаких отметок, мы не можем сказать, намного ли продвинули стержень, в каком направлении, да и двигали ли его вообще. Однако если бы на видимой части стержня была зарубка, мы легко заметили бы любое движение стержня, наблюдая за изменением положения этой зарубки.

И точно так же спектральные линии позволяют обнаруживать доплеровское смещение в световом луче. Они, так сказать, играют роль зарубок на спектре. А поскольку указал на это явление Физо, то в применении к свету его иногда называют эффектом Доплера — Физо.

Однако этот эффект проявляется очень слабо и обнаружить его трудно. Звук путешествует относительно медленно, проходя за секунду примерно 331 м, и поезд легко развивает скорость, всего в 10 раз меньшую. В этом случае звуковые волны могут очень заметно сближаться друг с другом или удаляться друг от друга. Свет, однако, движется со скоростью 300 000 000 м/сек, т. е. почти в миллион раз быстрее звука. Скорость большинства звезд (относительно нас) более чем в 10 000 раз уступает скорости света, и их движение изменяет длину световых волн лишь в ничтожной степени.

Только в 1868 г. английскому астроному Уильяму Хэггинсу (1824—1910) удалось обнаружить крохотное смещение спектральных линий очень яркой звезды — Сириуса — и доказать, что она удаляется от нас.

В связи со всем, изложенным выше, надо учитывать, что движение звезд происходит в трехмерном пространстве. Звезда может двигаться точно поперек или точно вдоль луча нашего зрения.

Оба эти случая весьма маловероятны. Гораздо чаще случается, что звезда движется не по лучу зрения и не под прямым углом к нему, а в каком-то промежуточном направлении. В этом случае ее движение можно разложить на две составляющие: одну, направленную вдоль луча зрения, и другую — под прямым углом к нему. Для этого реальное движение звезды надо представить в виде диагонали прямоугольника. Тогда две прилежащие к

диагонали стороны прямоугольника будут изображать составляющие ее движения. Длины диагонали и двух составляющих соответственно пропорциональны реальному движению и двум его составляющим.



●  
Наблюдатель

Рис. 16 Составляющие движения

Составляющая, направленная вдоль луча нашего зрения, называется лучевой скоростью. Составляющая, направленная под прямым углом к лучу нашего зрения, — это тангенциальная скорость. Именно эта тангенциальная скорость приводит к смещению звезды по небу и проявляется как собственное движение звезды.

Соотношение этих двух составляющих зависит от угла, который образует направление движения звезды с лучом нашего зрения. И наоборот, если и лучевая, и тангенциальная скорости движения звезды известны, легко вычислить действительную скорость ее перемещения в пространстве.

Обе эти составляющие определяются двумя совершенно различными способами.

Лучевая скорость благодаря эффекту Доплера—Физо приводит к изменениям в спектре звезды. Измерив смещение спектральных линий, можно определить лучевую скорость звезды (по направлению к нам, если смещение происходит в сторону фиолетового конца спектра, и от нас — если в сторону красного) непосредственно в километрах в секунду. Все расчеты совершенно не зависят от расстояния до звезды. Как бы далеко ни была от нас звезда, длина волн спектральных линий остается постоянной и определенное смещение этих линий указывает на определенную лучевую скорость независимо от того, находится ли звезда от нас в четырех световых годах или в четырех тысячах световых лет. Она должна быть только достаточно яркой, чтобы можно было измерить положение линий в ее спектре



Тангенциальная скорость звезды на спектр не влияет, а проявляется только в смещении звезды по небосводу. Поэтому она обнаруживается как собственное движение и измеряется в секундах дуги. Для того чтобы перевести собственное движение (в секундах дуги) в тангенциальную скорость (в км/сек), необходимо знать расстояние до звезды. Например, если звезда Барнарда движется по небу со скоростью  $10'',3$  в год и находится от нас на расстоянии в 6,1 светового года, мы можем вычислить, что ее тангенциальная скорость составляет примерно 90 км/сек.

## Центр Галактики

Теперь нам пора вернуться к проблеме определения расстояния до цефеид.

Можно попробовать решить ее статистическим методом. У звезд, движущихся в направлениях, близких к лучу нашего зрения, лучевая скорость больше тангенциальной. У звезд, движущихся примерно перпендикулярно лучу нашего зрения, тангенциальная скорость больше лучевой. Однако в среднем эти две противоположные тенденции уравнивают друг друга, и для большого числа звезд лучевую и тангенциальную скорости можно считать в среднем равными.

В таком случае мы можем принять, что измеренное собственное движение какой-нибудь цефеиды (в секундах дуги в год) равно не только ее тангенциальной, но и ее лучевой скорости, а лучевую скорость можно измерить непосредственно в километрах в секунду, изучая спектр звезды. Если же мы можем выразить движение в секундах дуги в год и в километрах в секунду, это дает нам возможность вычислить расстояние до движущегося объекта, ибо только на одном определенном расстоянии скорость во столько-то километров в секунду соответствует перемещению во столько-то секунд дуги в год.

Для отдельной цефеиды подобные расчеты могут дать ответ, весьма далекий от истины, так как именно в этом случае лучевая скорость может оказаться намного больше или меньше тангенциальной. Однако если таким образом вычислить расстояние до множества цефеид с

одинаковым периодом, расположенных в данном скоплении, полученное среднее расстояние, вероятнее всего, будет близко к истинному.

Датский астроном Эйнар Герцшпрунг (род. в 1873 г.) определил этим способом расстояния до нескольких цефеид в 1913 г., а несколько лет спустя Шепли применил статистический метод, изучая строение Галактики. Он нашел расстояния до цефеид с различными периодами. Исходя из полученных расстояний и из их видимой яркости, он смог вычислить их светимости.

Если построить график зависимости найденных таким образом светимостей цефеид от их периодов, то в результате (с учетом некоторой неопределенности, заложенной в самом методе) должна получиться более или менее гладкая линия. По крайней мере такой результат должен был получиться, если этот метод имеет хоть какую-нибудь ценность. С другой стороны, если бы такой статистический метод не имел никакой ценности, то все вычисленные с его помощью расстояния были бы неверны, и, следовательно, неверны были бы и полученные значения светимостей и никакой закономерной связи между светимостью и периодом не обнаружилось бы.

Однако, когда Шепли построил график зависимости светимости от периода, он получил очень гладкую линию, так что его результаты можно было считать в основном верными. А как только ему стали известны и светимость, и период представленных на графике цефеид, он смог определять действительное расстояние до любой цефеиды. Цефеидный масштаб стал абсолютным.

Этим способом Шепли смог определить истинные расстояния до отдельных шаровых скоплений, а затем и до центра сферы, которую они образуют. Он был убежден, что центр этой сферы — одновременно и центр Галактики, и, согласно полученным им данным, расстояние от этого центра до Солнца составляло 50 000 световых лет (15 500 парсек).

К 1920 г. положение человека во Вселенной вновь резко изменилось — и вновь в сторону еще большего уничтожения. Коперник доказал, что Земля — вовсе не центр Вселенной, но он был убежден, что, согласно порядку природы, этим центром является Солнце. Даже

Гершель и Каптейн считали, что Солнце находится в центре Галактики (а следовательно, и Вселенной) — если не по установлению природы, то хотя бы случайно. И вот теперь Шепли весьма убедительно продемонстрировал, что Солнце располагается где-то на самой окраине Галактики.

На смену геоцентрической Вселенной Птолемея и гелиоцентрической Вселенной Коперника теперь пришла эксцентрическая Вселенная Шепли — такая, в которой Солнце находится «в стороне от центра» (таков буквальный перевод слова «эксцентрический»).

Однако представление об эксцентрической Вселенной Шепли тоже породило свои затруднения. Если основная часть Галактики лежит по одну сторону Солнца, в направлении созвездия Стрельца, то почему же полоса Млечного Пути в этом направлении лишь немного (а не подавляюще) ярче, чем в противоположном направлении, где тянется только самый край Галактики?

Ответ на этот вопрос пришел с осознанием того факта, что Вселенная далеко не исчерпывается тем, что прямо бросается нам в глаза. Далеко не все сверкающие точки за пределами солнечной системы — звезды. Существуют, кроме того, и гораздо более размытые яркие объекты; часть из них аккуратно нанес на свою карту Мессье, а другие наблюдались даже еще до него.

Например, в 1694 г. голландский астроном Христиан Гюйгенс (1629—1695) описал в своем дневнике яркое расплывчатое пятно в созвездии Ориона. Подобные яркие расплывчатые пятна, похожие на светящиеся облака, стали впоследствии называться туманностями; описанная Гюйгенсом туманность — это туманность Ориона.

Размеры туманности Ориона колоссальны. Теперь мы знаем, что она находится от нас на расстоянии примерно в 1600 световых лет, и по ее видимому диаметру можно рассчитать, что ее истинный диаметр достигает 30 световых лет. Она предстает перед нами гигантским облаком пылевых частиц, которые отражают и рассеивают свет находящихся внутри нее горячих звезд. Теперь известно уже много других таких светящихся туманностей, и некоторые из них удивительно красивы.

Однако астрономы обнаружили, что наряду с обла-

тями мягкого туманного свечения имеются и другие области, где вопреки ожиданиям свечение вообще почти отсутствует. Например, Вильям Гершель, внимательно изучая Млечный Путь, заметил области, где было очень мало звезд, хотя все пространство вокруг было просто набито звездами. Гершель поверил тому впечатлению, которое производили эти темные области, и решил, что звезд там просто нет, а с того места, где находится Земля, люди могут заглядывать в эти пустоты. «Правда же, — сказал Гершель, — это дыра в небе».

Но по мере изучения этих областей представлялось все менее вероятным, чтобы такие области, по неизвестным причинам не содержащие звезд, могли существовать в подобных количествах и чтобы все они случайно оказались расположенными так, что мы можем заглядывать в «дыру». К 1919 г. Барнард определил координаты 182 таких темных областей, а к настоящему времени число их превысило 350.

В конце концов Барнард и немецкий астроном Макс Франц Иосиф Корнелиус Вольф (1863—1932) пришли к выводу, что эти темные области — вовсе не дыры. Их существование объяснялось не отсутствием вещества, а, наоборот, его присутствием — присутствием огромных облаков пылевых частиц поглощавших и заслонявших свет звезд позади них, как земные облака поглощают и заслоняют свет Солнца, скрытого за ними.

Короче говоря, существовали также и темные туманности, а не только светящиеся. Последние светились лишь потому, что в них имелись звезды, а темные туманности были темными, потому что в них не было звезд.

К числу самых знаменитых темных туманностей относится туманность Конская Голова в созвездии Ориона, которая выделяется темным силуэтом на фоне окружающей светлой туманности. (По правде говоря, на мой взгляд, эта туманность больше похожа на голову и плечи Большого Злого Волка из мультфильмов Уолта Диснея.) Можно назвать еще Угольный Мешок — область густого мрака вблизи Южного Креста.

Если темные туманности распределены по Галактике более или менее равномерно, то больше всего их должно быть именно там, где больше звезд. И действительно,

темные туманности располагаются преимущественно в плоскости Млечного Пути и особенно в направлении созвездия Стрельца — там, где находятся центр Галактики и значительная ее часть. Нетрудно понять, почему центр Галактики и лежащие за ним области не видны: их свет постоянно затемняется пылевыми облаками.

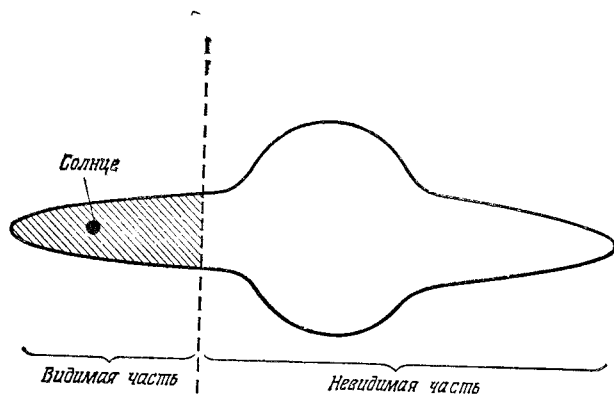


Рис 17. Видимая часть Галактики

Полоса Млечного Пути кажется примерно одинаково яркой на всем своем протяжении не потому, что солнечная система будто бы оказалась случайно вблизи центра Галактики, а только потому, что большую часть галактического света поглощают темные туманности. Та часть Млечного Пути, которую мы видим, — это лишь кусочек наших окрестностей, так сказать, наш собственный уголок Галактики.

Итак, Шепли пришел к выводу, что мы находимся в стороне от центра Галактики, хотя вид Млечного Пути и создает обманчивое впечатление, будто солнечная система расположена в самой ее середине.

## Размеры Галактики

Тем не менее некоторые детали в выводах Шепли оказались неверными. Впервые после того, как размеры Вселенной в течение тысячелетий постоянно недооцени-

вались, астроном переоценил размеры значительной ее части. И вновь трудности были порождены тем, чего нельзя было увидеть. Как только мы признаем существование темных туманностей, вполне уместным становится вопрос, обладает ли абсолютной прозрачностью хоть какая-нибудь часть космического пространства.

Тут мы можем провести аналогию с нашей земной атмосферой. Все мы знаем, что пылевые частицы (твердые, как в дымах, или жидкие, как в тумане и облаках) при необычно высокой концентрации способны заслонить свет даже такого яркого объекта, как Солнце. Если пылевые частицы располагаются низко (в частности, при тумане), видимость сильно сокращается и подчас не превышает нескольких метров — так сильно рассеивают свет частицы тумана или дыма.

В сравнении с этим, конечно, кажется, что чистый воздух, в котором не видно ни туч, ни туманной дымки, должен быть абсолютно прозрачным и никак не воздействует на свет.

Однако это лишь иллюзия. Атмосфера никогда не бывает совершенно прозрачной, даже если она предельно чиста. Она всегда рассеивает свет, что доказывается самим цветом нашего голубого неба — эта голубизна создается за счет рассеяния солнечного света. И даже в самые ясные ночи воздух поглощает заметную долю света звезд, достигающего Земли.

Короче говоря, абсолютной прозрачности можно ожидать только от абсолютной пустоты. Межзвездное пространство — почти абсолютная пустота, но все же это не пустота. Даже в глубинах туманности оно гораздо прозрачнее, чем земная атмосфера, но все же оно не вполне прозрачно. Случайная пылевая частица, плавающая где-то в гигантской пустоте межзвездного пространства, перехватит и отклонит луч от света звезды. Один раз — это еще ничего. Но на чудовищном расстоянии во много световых лет, отделяющем одну звезду от другой, может оказаться такое количество пылевых частиц, что постепенно накапливающееся рассеяние, вызываемое ими, станет достаточно большим, чтобы его можно было заметить. Это ничтожное рассеяние легче всего обнаружить благодаря тому, что коротковолновые световые лучи рас-

сеиваются больше, чем длинноволновые. Такое рассеяние ослабляет сине-фиолетовый конец спектра, и остающийся свег становится более красным. Следовательно, если удастся доказать, что отдаленные звезды кажутся более слабыми и красными, чем они должны были бы выглядеть, и если это покраснение будет усиливаться с увеличением расстояния, то такое явление укажет на присутствие межзвездной пыли.

Первым, кто с несомненностью установил существование такого покраснения, был американский астроном, швейцарец по происхождению, Роберт Джулиус Трюмплер (1886—1956). Он сделал это открытие, изучая шаровые звездные скопления. Средние размеры и средняя яркость всех таких скоплений должны были бы уменьшаться одинаковым образом — пропорционально квадрату расстояния. Отсюда следовало, что шаровое скопление, занимающее на небосводе определенную площадь, должно иметь также и определенную яркость.

Однако в 1930 г. Трюмплер доказал, что свет более далеких шаровых скоплений слабее, чем следовало бы ожидать, судя по их размерам. Чем дальше находилось скопление, тем заметнее было это отклонение от ожидаемой яркости. Видимая площадь скопления уменьшалась пропорционально квадрату расстояния, но видимая яркость скопления уменьшалась не пропорционально квадрату расстояния, а с каким-то дополнительным коэффициентом ослабления. И чем дальше находилось скопление, тем краснее оно казалось.

Проще всего было бы предположить, что невероятно разреженные облака пыли в межзвездном пространстве ослабляют и делают более красным проходящий огромные расстояния свет звезд. И на этих огромных расстояниях пыль ослабляет и делает более красным свет далеких скоплений точно так же, как пыль в земной атмосфере ослабляет и делает более красным свет заходящего Солнца. Предполагается, что в плоскости Млечного Пути, где концентрация пыли наиболее высока, энергия светового луча из-за рассеяния уменьшается наполовину на расстоянии в 2000 световых лет. Половина оставшейся энергии поглощается рассеянием еще через 2000 световых лет и т. д. Если это так, то после прохождения

30 000 световых лет (расстояние, отделяющее нас от центра Галактики) сохранилась бы только  $1/32\,000$  часть энергии световых лучей, даже если бы этим лучам не пришлось пронизывать отдельные необычно густые пылевые скопления, т. е. темные туманности.

Этот эффект ослабления света очень важен при изучении далеких цефеид. По периоду отдельной цефеиды можно определить ее светимость. Если сопоставить эту светимость с видимой яркостью, можно определить расстояние до цефеиды, поскольку нетрудно вычислить, как далеко должна находиться звезда, чтобы вся ее светимость свелась к той крохотной точке света, которую мы видим на небосводе. Однако такие расчеты опираются на предположение, что уменьшение яркости вызывается только расстоянием, а присутствие межзвездной пыли привело бы к заметному дополнительному ослаблению света далекой цефеиды. Если бы не пыль, такая цефеида выглядела бы гораздо более яркой, и ее считали бы более близкой к нам. Другими словами, если не учитывать наличия межзвездной пыли, мы получим преувеличенные оценки больших расстояний.

Оценивая расстояние до центра Галактики в 50 000 световых лет, Шепли исходил из предположения, что яркость цефеид уменьшается только из-за увеличения расстояния. Если учесть присутствие межзвездной пыли как дополнительного фактора, ослабляющего свет звезд, то окажется, что центр Галактики находится от нас не далее чем в 30 000 световых лет.

Таким образом, в начале 30-х годов были, наконец, определены те размеры Млечного Пути, которых мы придерживаемся в настоящее время. Галактика — это линзоподобный объект с поперечником от 80 000 до 100 000 световых лет. А наша солнечная система находится примерно в 27 000 световых лет от ее центра.

Кроме того, цефеиды, наблюдаемые в Магеллановых Облаках, дали возможность определить расстояние и до них. Большое Магелланово Облако находится от нас примерно в 150 000 световых лет, а Малое Магелланово Облако — примерно в 165 000 световых лет. Их положение показано на рис. 18, и есть основания предполагать, что между обоими Облаками существует постоянная



связь и они образуют единую систему. Вопрос о размерах Галактики — это не только вопрос о занимаемом ею пространстве. Сколько она содержит звезд?

Чтобы ответить на этот вопрос, Ян Оорт предположил, что по мере приближения к центру Галактики густота звезд сильно возрастает. Центральная область, возможно, содержит 90% всех звезд Галактики. В этом случае

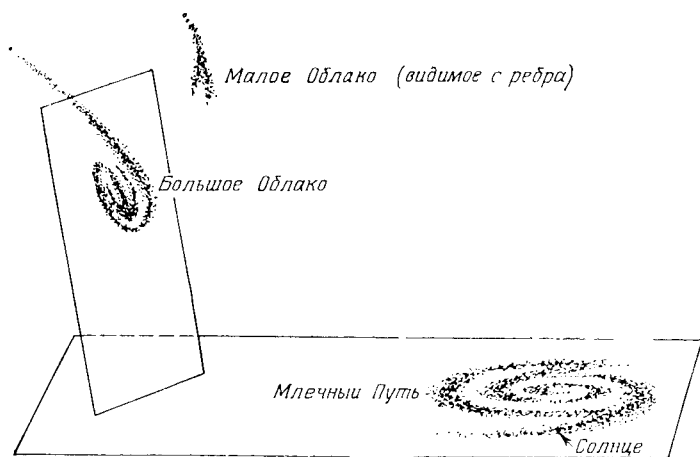


Рис 18. Магеллановы Облака и Млечный Путь

звезды ее окраин (например, наше собственное Солнце) обращались бы вокруг этого центра, как в солнечной системе Земля обращается вокруг Солнца.

Кроме того, звезды, расположенные ближе к центру Галактики, чем Солнце, обращались бы вокруг него с большей скоростью, тогда как звезды, находящиеся от центра дальше, чем Солнце, двигались бы медленнее него. (Это следует из закона всемирного тяготения, точно так же Меркурий, который ближе к Солнцу, чем Земля, обращается вокруг него с большей скоростью, чем она, тогда как Юпитер, который дальше от Солнца, чем Земля, движется медленнее.)

Но все эти предположения верны только в том случае, если различные тела, обращающиеся вокруг одного центра, движутся по круговым или почти круговым ор-

битам, как планеты нашей солнечной системы. Если же некоторые звезды обращаются вокруг центра Галактики по очень вытянутым орбитам, то проанализировать их движение далеко не так просто.

Однако если рассматривать сразу большое число звезд, влияние вытянутости их орбит взаимно уравнивается. В этом случае можно заметить, что звезды, находящиеся между нами и центром Галактики, имеют тенденцию в среднем нагонять нас, медленно приближаясь к нам вдоль луча нашего зрения. Пройдя же мимо, они продолжают все больше и больше обгонять нас и при этом слегка удаляются от нас вдоль луча нашего зрения. Наоборот, звезды, более удаленные от центра, чем мы, движутся медленнее нас. Мы нагоняем их и приближаемся к ним, а потом обгоняем их и начинаем от них удаляться.

Если это так, то должна существовать какая-то определенная закономерность, сказывающаяся и в тангенциальных, и в лучевых скоростях достаточно близких к нам звезд. И такая закономерность действительно существует. Именно закономерное распределение лучевых скоростей позволило обнаружить видимое движение Солнца к апексу (см. стр. 67) — незначительное движение, заметное только по отношению к ближайшим звездам. В 1904 г. Каптеин пришел к более общему заключению, решив, что существует два потока звезд, один из которых движется в одном направлении, а другой — в прямо противоположном.

В 1925 г. Оорт доказал, что каптейновские потоки состоят из внутренних звезд, догоняющих Солнце, и внешних звезд, которые от Солнца отстают. Он сумел определить характер общего вращения Галактики и, исходя из этого, вычислил направление на центр Галактики и расстояние до него с помощью метода, не связанного с положением шаровых скоплений. Он доказал, что этот центр находится от нас примерно в 30 000 световых лет и лежит в направлении созвездия Стрельца. Это вполне согласовалось с данными, полученными путем изучения шаровых скоплений после того, как было учтено присутствие межзвездной пыли, и такого совпадения результатов оказалось достаточно, чтобы созданная Шепли экс-

центрическая модель Галактики была принята всеми астрономами.

Изучая относительные движения звезд, Оорт смог затем установить, что Солнце движется вокруг центра Галактики по приблизительно круговой орбите со скоростью  $220 \text{ км/сек}$ , совершая один оборот вокруг этого центра примерно за  $230\,000\,000$  лет

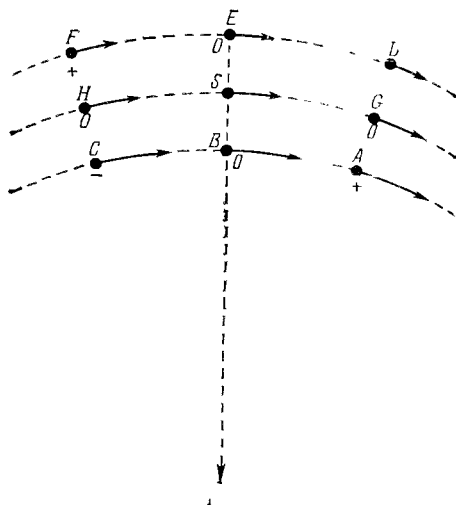


Рис 19 Вращение Галактики

Чтобы создать притяжение, которое заставило бы Солнце двигаться по орбите на указанном расстоянии и с указанной скоростью, центр Галактики должен обладать массой, в  $90\,000\,000\,000$  раз превосходящей массу Солнца. Если принять, что в центре Галактики сосредоточено  $90\%$  ее массы, то общая масса Галактики должна быть примерно в  $100\,000\,000\,000$  раз больше массы Солнца. Статистическое изучение звезд показывает, что Солнце обладает средней для звезды массой; исходя из этого, мы можем предположить, что Галактика содержит около  $100\,000\,000\,000$  звезд, хотя некоторые оценки дают и более высокие цифры.

Если учесть гигантское расстояние, отделяющее нас от Магеллановых Облаков, то окажется, что они занимают весьма значительное пространство. Максимальный поперечник Большого Магелланова Облака достигает примерно 40 000 световых лет, т. е. составляет почти половину диаметра Галактики. Однако Магеллановы Облака населены звездами далеко не так густо, как Галактика, а это, пожалуй, более важно. Большое Магелланово Облако содержит, видимо, не более 5—10 миллиардов звезд, а Малое Магелланово Облако — всего только 1—2 миллиарда. По общему количеству звезд оба Облака составляют всего лишь одну десятую Галактики. Поэтому их можно считать спутниками Галактики.

Тем не менее, несмотря на меньшие размеры Магеллановых Облаков, в них обнаружены объекты, которые больше и примечательнее всех, имеющихсся в Галактике — по крайней мере в тех ее областях, которые видимы для нас. Например, в Большом Магеллановом Облаке находится звезда, обладающая наибольшей известной светимостью, — S Золотой Рыбы. Она не настолько ярка, чтобы ее можно было наблюдать невооруженным глазом, так как это звезда всего лишь 8-й величины. Но даже такая яркость для звезды, находящейся от нас не ближе Большого Магелланова Облака, — это что-то потрясающее. Светимость S Золотой Рыбы в 30 раз больше светимости Ригеля, обладающего наибольшей светимостью из всех относительно близких к нам звезд, и примерно в 600 000 раз больше светимости Солнца.

В Большом Магеллановом Облаке находится также туманность Тарантул — яркое пылевое облако, похожее на туманность Ориона, но превосходящее его по размерам в 5000 раз. Туманность Тарантул намного больше и великолепнее всех подобных ей объектов, которые мы можем наблюдать в Галактике.

Таким образом, мы располагаем четкой картиной той части Вселенной, в которой находится наше собственное гигантское скопление звезд. Если мы представим себе шар, центр которого совпадает с центром Галактики, а радиус равен 200 000 световых лет, то он вместит в себя всю Галактику и Магеллановы Облака с общим количеством звезд, достигающим, пожалуй, 150 000 000 000

## Глава 6

# Другие галактики

### *Туманность Андромеды*

В течение 2000 лет размеры той Вселенной, которую представлял себе человек, чрезвычайно увеличились. Давайте коротко повторим, как это происходило.

К 150 г до н э были точно определены размеры системы Земля — Луна. Было установлено, что диаметр лунной орбиты составляет 800 000 км, и предполагалось, что диаметры планетных орбит достигают нескольких миллионов километров.

К 1800 г. н. э были определены размеры солнечной системы. Оказалось, что ее диаметр измеряется не какими-нибудь миллионами, а миллиардами километров. Расстояния до звезд были еще неизвестны, но можно было предполагать, что они не меньше нескольких триллионов километров (т. е. должны измеряться световыми годами).

К 1850 г. было установлено, что расстояние до ближайших звезд составляет не просто триллионы, но десятки и сотни триллионов километров. Диаметр Галактики оставался еще неизвестным, но существовали предположения, что он будет измеряться тысячами световых лет.

К 1920 г. было установлено, что диаметр Галактики составляет не просто тысячи световых лет, но многие десятки тысяч световых лет.

На каждом новом этапе оказывалось, что размеры изучаемой области Вселенной намного превосходят самые смелые предположения прошлого. Далее, на каждом из этих этапов развития наших знаний существовала консервативная точка зрения, что объект, над определением размеров которого работают ученые, представляет

собой всю или почти всю Вселенную, и до 1920 г эта точка зрения неизменно оказывалась неправильной

Система Земля — Луна оказалась ничтожной по сравнению с солнечной системой. Солнечная система в свою очередь оказалась ничтожной, когда были определены расстояния до ближайших звезд. А вся система ближайших звезд оказалась ничтожной по сравнению с Галактикой в целом.

Будет ли этот процесс продолжаться? Или Галактика с ее спутниками — Магеллановыми Облаками — наконец-то окажется всем миром? Добрались ли все-таки астрономы до предела Вселенной?

Даже в 1920 г еще казалось, что наконец-то восторжествует консервативная точка зрения. Представлялось вполне вероятным, что Галактика и Магеллановы Облака содержат всю имеющуюся во Вселенной материю, а за ними уже лежит ничто.

На сей раз консервативная точка зрения опиралась на веские теоретические аргументы. Вспомните, что парадокс Ольберса как будто доказывал существование конечной Вселенной (см стр 59), и тот факт, что звезды, по-видимому, слагались в конечную линзоподобную Галактику, также подтверждал это предположение. Если бы оказалось, что за пределами Галактики и ее спутников находятся многочисленные гигантские объекты, парадокс Ольберса поставил бы перед астрономами неразрешимую дилемму.

И все же астрономов не могло вполне удовлетворить представление о конечной Вселенной с поперечником в 200 000 световых лет. Имелись некоторые основания предполагать, что за пределами Галактики, возможно, существуют многочисленные протяженные объекты, и опровергнуть эти предположения оказалось не так-то легко.

Особенно загадочным объектом было туманное светлое пятно в созвездии Андромеды — туманность Андромеды.

Туманность Андромеды видна невооруженным глазом как маленький объект 4-й звездной величины, напоминающий стабую, расплывчатую звезду. Некоторые араб-

ские астрономы наносили ее на свои звездные карты, но первым в новое время ее описал немецкий астроном Симон Мариус (1570—1624) в 1612 г. В XVIII в. Мессье включил ее в свой список «косматых» объектов, которые не были кометами. В его списке туманность Андромеды значилась под номером 31, и поэтому ее часто называют «М 31».

Вначале не было никаких оснований предполагать, что туманность Андромеды заметно отличается от других туманностей, таких, например, как туманность Ориона. Туманность Андромеды казалась светящимся облаком — и только.

Некоторые астрономы XVIII в. даже нашли для подобных облаков подходящее место в системе всего сущего. А что если звезды развиваются из разреженных вращающихся газовых масс? Можно было бы предположить, что под действием собственного поля тяготения такие облака начинают сжиматься и сгущаться, отчего их вращение ускоряется. Вращаясь все быстрее и быстрее, они сплющиваются, становятся линзообразными и в конце концов сбрасывают с вздувающегося экватора кольцо газа. Позже, по мере ускорения вращения, отделяется второе кольцо, затем третье и т. д. Каждое такое кольцо стягивается в маленькое планетное тело; и наконец, то, что осталось от облака, сгущается в большую пылающую звезду, которая оказывается центром целой семьи планет.

Подобная теория объяснила бы тот факт, что все планеты солнечной системы располагаются почти в одной плоскости и что все они обращаются вокруг Солнца в одном направлении. Кроме того, у большинства планет имеются системы спутников, которые все обращаются вокруг планеты в одной плоскости и в одном направлении, словно и сами планеты в процессе сгущения их газовых колец сбрасывали собственные маленькие кольца.

Первым предложил такое объяснение происхождения солнечной системы в 1755 г. немецкий философ Иммануил Кант (1724—1804). Полвека спустя французский астроном Пьер-Симон Лаплас (1749—1825) опубликовал сходную теорию (которую он разработал независи-

мо) в качестве приложения к популярной книге по астрономии<sup>1)</sup>.

Интересно, что относительно туманности Андромеды Кант и Лаплас придерживались противоположных точек зрения, из-за которых между астрономами в течение полутора веков шла настоящая война.

Лаплас считал туманность Андромеды возможным примером планетной системы в процессе образования, и правда, строение ее таково, что кажется, будто она несомненно и быстро вращается. Можно почти увидеть (или убедить себя в том, что видишь) кольцо газа, которое вот-вот будет сброшено. Поэтому гипотеза Лапласа о способе образования планетных систем известна под названием небулярной гипотезы (от латинского слова *nebula* — туман).

Если Лаплас был прав и туманность Андромеды представляла собой массу газа, из которой вскоре должна была образоваться планетная система, она не могла обладать очень большой протяженностью и, судя по ее видимым в телескоп размерам, не могла быть и очень удалена от нас.

Небулярная гипотеза Лапласа была популярна среди астрономов на протяжении всего XIX в, и его мнение о природе туманности Андромеды разделялось в то время большинством. В 1907 г было сообщено об определении параллакса туманности Андромеды, согласно которому получалось, что она находится от нас на расстоянии в 19 световых лет. Это, несомненно, представлялось решающим доказательством.

Но существовала и противоположная точка зрения, высказанная Кантом. Несмотря на то что он также был творцом небулярной гипотезы, он не поддавался искушению считать туманность Андромеды зримым подтверждением своей теории. Вместо этого он выдвинул предположение, что туманность Андромеды и сходные с ней небесные объекты — возможно, гигантские скопления звезд и кажутся маленькими расплывчатыми пятнами только потому, что находятся от нас на колоссальных

---

<sup>1)</sup> Книга эта называлась «Изложение системы мира» и действительно не содержала ни одной математической формулы — *Прим ред*



расстояниях Он считал вероятным, что они могут представлять собой «островные вселенные», и каждая является, так сказать, самостоятельной галактикой.

Однако эта гипотеза Канта не подтверждалась никакими наблюдениями современных ему астрономов. Она почти не приобрела сторонников, и если ее вообще как-то рассматривали, то лишь как своего рода научную фантастику

Тем не менее предположение Канта продолжало жить. Время от времени обнаруживались какие-нибудь второстепенные факты, которые не вполне укладывались в ортодоксальную лапласовскую схему. Главными среди них были результаты спектроскопических наблюдений.

Звезды излучают свет, который, пройдя через призму, дает практически непрерывный спектр, пересеченный темными линиями поглощения. Если, однако, газы или пары относительно простого химического состава нагреть так сильно, что они начнут светиться, то их свет, пропущенный через призму, дает эмиссионный спектр, который состоит из отдельных светящихся линий. (Точное положение этих линий зависит от химического состава данного газа или пара.)

Кроме того, непрерывный спектр обычно (хотя и не всегда) создается белым светом, тогда как эмиссионный спектр передко получается от окрашенного света, поскольку светящиеся линии того или иного цвета могут преобладать во всем свечении.

У многих ярких туманностей имеются весьма тонкие оттенки цвета, которые на обычных черно-белых фотографиях незаметны. Например, Хёггинс при изучении света туманности Ориона обнаружил, что она дает эмиссионный спектр с преобладающей зеленой линией. Из этого можно было сделать вывод, что в туманности Ориона и в других подобных объектах содержатся большие количества раскаленных светящихся газов <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Газ рассеивает свет гораздо слабее, чем пылевые частицы. Тот факт, что туманности сильно рассеивают свет, доказывает, что они должны состоять не только из газа, но и из пыли. Насколько мы можем судить в настоящее время, пыль составляет лишь 1—2% всей массы средней туманности, но и этого вполне достаточно, чтобы объяснить вызываемое ею рассеяние.

Однако свет туманности Андромеды был тускло-белым, а ее спектр, полученный в 1899 г., оказался непрерывным.

Если бы спектр туманности Андромеды состоял из отдельных светящихся линий, проблема была бы решена сразу. Это означало бы, что туманность Андромеды — просто масса светящегося газа и может помочь решению вопроса об общем строении Вселенной не больше, чем туманность Ориона. Но теперь спор продолжался. Белый свет и непрерывный спектр свидетельствовали о том, что туманность Андромеды, возможно, состоит из множества звезд и только находится так далеко, что различить эти звезды невозможно. С другой стороны, такой вывод не был совершенно обязательным, поскольку при определенных условиях газовая туманность тоже может сиять белым светом и давать непрерывный спектр.

Эмиссионные спектры создаются раскаленными газами, которые светят собственным светом. Но предположим, что холодная масса газа лишь пассивно отражает свет звезд. В этом случае спектр отраженного звездного света будет в общем таким же, как спектр исходного света звезд (так же, как спектр лунного света совпадает со спектром солнечного).

Если бы туманность Андромеды просто отражала свет звезд, это объяснило бы все. Ее спектр не противоречил бы гипотезе, что она представляет собой не очень большое скопление газа, расположенное неподалеку от солнечной системы.

Но оставалась еще одна трудность. Если туманность Андромеды просто отражает звездный свет, то где те звезды, свет которых она отражает? Звезды внутри туманности Ориона увидеть нетрудно — именно их излучение и нагрело туманность Ориона настолько, что она дает эмиссионный спектр. Но где же звезды в туманности Андромеды? Их никак не удавалось обнаружить.

Во всяком случае, не удавалось обнаружить ни одной постоянной звезды. Но время от времени в туманности Андромеды появлялись какие-то звездоподобные объекты. Поскольку впоследствии выяснилось, что этот факт

имеет чрезвычайно большое значение, мы рассмотрим здесь подробнее вопрос о появляющихся время от времени звездоподобных объектах

## Новые

Человеку, не ведущему систематических наблюдений за небом, расположение звезд представляется постоянным и неизменным. Древнегреческие ученые даже считали это свойство коренным отличием неба от Земли. На Земле, указывал Аристотель, происходят непрерывные и бесконечные изменения, небеса же абсолютно неизменны.

Правда, время от времени падучая звезда, мелькнув по небосводу, внушала исповещенным мысль, что с неба упала звезда. Однако, хотя падучих звезд наблюдалось множество, все известные звезды по-прежнему оставались на своих местах. Поэтому греки считали падучие звезды атмосферным явлением и связывали их, так же как облака и дождь, не с неизменными небесами, а с изменчивой Землей. Самое слово «метеор», которым стали называть падучие звезды, по-гречески означает «находящийся в воздухе»<sup>1)</sup>.

Греки не ошибались, когда считали, что световая вспышка, сопровождающая падение звезды, — это атмосферное явление. Но вызывает эту вспышку быстро движущееся тело (метеорное тело), которое может быть меньше булавочной головки, а может весить и несколько тонн. До того как такое тело попало в земную атмосферу, оно было самостоятельным членом солнечной системы. Но проходя через атмосферу, оно раскаляется настолько, что начинает ярко светиться. Если оно мало, то сгорает все целиком, а если достаточно велико, то остатки его могут долететь до поверхности Земли в качестве метеорита.

Еще одним видом временных обитателей неба были кометы, нередко тянувшие за собой длинные туманные полосы, которые можно было счесть пушистыми хвоста-

<sup>1)</sup> Это объясняет, почему метеорологию называют наукой, изучающей атмосферу и погоду, а не метеоры. Наука, изучающая метеоры, называется метеорной астрономией, а наука, которая изучает «камни с неба» (метеориты), — метеоритикой — *Прим ред*

ми или распущенными волосами. Древние видели именно второе — название «комета» происходит от латинского слова, означающего «волосы». Кометы появлялись и исчезали без всякой регулярности, а потому греческие философы считали их также атмосферным явлением. Но тут они, бесспорно, ошибались, так как кометы движутся далеко за пределами земной атмосферы и являются полноправными членами солнечной системы, такими же самостоятельными, как и сами планеты.

Попробуем несколько видоизменить мнение греков. скажем, что перемены — это свойство солнечной системы, а звезды, находящиеся далеко за ее пределами, неизменны. Таким образом мы исключим не только метеоры и кометы, но и другие изменения вроде фаз Луны, пятен на Солнце и сложного движения планет. Верно ли такое, более ограниченное представление о неизменности небес?

Если наблюдать небо невооруженным глазом, то с этим, пожалуй, можно согласиться. Да, конечно, блеск некоторых звезд меняется (см. стр. 71), но это явление редкое, малозаметное, и случайный наблюдатель этого просто не увидит. Некоторые звезды, кроме того, обладают собственным движением, но оно еще менее заметно, и без телескопа для его обнаружения потребовалось бы несколько столетий.

Но одна весьма заметная перемена может произойти и на небесах, и даже самый случайный наблюдатель, несомненно, обратит на нее внимание. Я имею в виду вполне реальное появление совершенно новых и подчас очень ярких звезд. Это, несомненно, были звезды, им ни в коей мере не была свойственна размазанность очертаний, присущая кометам. И они вспыхивали не на мгновение, как метеоры, а сияли по несколько недель и даже месяцев.

Подобные новые звезды свидетельствуют о переменах среди звезд не только самим фактом своего появления и последующего исчезновения — кроме того, за время их краткого пребывания на небе в качестве видимых объектов их яркость менялась самым радикальным образом. Лишь крайняя редкость таких явлений позволила древним астрономам игнорировать их и принять тезис о неизменности небес.

Собственно говоря, за весь период существования греческой астрономии мы находим только одно свидетельство о вспышке новой звезды, причем свидетельство не очень достоверное. Предполагается, что такую новую звезду наблюдал Гиппарх в 134 г. до н. э. Известно это нам не из его трудов, поскольку они до нас не дошли. Об этом 200 лет спустя упоминал римский энциклопедист Плиний (23—79), который писал, что именно появление этой новой звезды и побудило Гиппарха создать первую карту звездного неба, дабы легче было обнаруживать будущие новые звезды.

Пожалуй, самая эффектная из всех новых звезд исторического времени, вспыхнувшая в созвездии Тельца в июне 1054 г., в Европе вообще не наблюдалась, так как в эту эпоху европейской астрономии практически не существовало. Сведениями о ней мы обязаны китайским и японским астрономам, которые зарегистрировали в указанное время «звезду-гостью», как они ее называли. Она просуществовала два года и достигла такой яркости, что превзошла Венеру и была ясно видима днем. Почти месяц она была наиболее ярким небесным светилом после Солнца и Луны.

Позже, в ноябре 1572 г., в созвездии Кассиопеи вспыхнула еще одна такая же звезда, почти столь же яркая — в период своего наибольшего блеска она сияла в пять, а то и в десять раз ярче Венеры. Но в эту эпоху европейская астрономия уже вновь расцвела, и случилось так, что новую звезду увидел, еще будучи впечатлительным юношей, человек, который стал впоследствии замечательным астрономом. Это был датчанин Тихо Браге. Он внимательно наблюдал за новой звездой и в 1573 г. опубликовал небольшую книгу о ней. Краткое латинское название этой книги было «*De Nova Stella*» («О новой звезде»). И с тех пор всякая звезда, внезапно вспыхивающая там, где прежде не было видно никаких звезд, называется Новой.

Наблюдая Новую 1572 г., Тихо отметил важный факт. у нее не было измеримого параллакса. Это означало, что она находится не ближе к Земле, чем Луна, а потому не может быть атмосферным явлением и принадлежать к изменчивому миру Земли. (Тихо провел такие же наблю-

дения в 1577 г. над кометами и доказал, что кометы тоже не являются атмосферным явлением)

Затем, в 1604 г., появилась еще одна Новая, на этот раз в созвездии Змееносца. Ее наблюдали Кеплер и Галлей. Заметно уступая в яркости Новой Тихо, Новая 1604 г. была все же весьма живописным явлением и в максимуме блеска соперничала с планетой Юпитер

Как ни странно, но за три с половиной века, протекшие с 1604 г., ни одна особенно яркая Новая не украсила собой небеса. Об этом можно только пожалеть, так как всего лишь через несколько лет после 1604 г. был изобретен телескоп и астрономия вступила в новую эру, когда яркую новую звезду можно было бы изучать гораздо успешнее.

И все же революция, которую произвел в астрономии телескоп, сразу сказала на представлениях об этих новых звездах. Во первых, почти тотчас же было обнаружено, что в небе имеется гораздо больше звезд, чем их можно увидеть невооруженным глазом. Поэтому Новая, несмотря на свое название, вовсе не обязательно должна была оказаться действительно новой. Это могла быть просто слабая звезда — настолько слабая, что при обычных обстоятельствах ее нельзя было увидеть невооруженным глазом, — блеск которой по какой-то причине вдруг настолько возрос, что она стала видима. По мере того как астрономы открывали все больше переменных звезд, изменения яркости сами по себе перестали казаться редкостными или хотя бы необычными. Необычным в Новых был не факт изменения яркости, а степень этого изменения. Новые звезды можно было бы считать особым типом переменных звезд — «катастрофическими переменными». Изменение их яркости казалось не результатом какого-то более или менее спокойного периодического процесса, но скорее следствием чудовищного катаклизма — примерно такая же разница существует между периодическими взлетами струи гейзера и внезапными и непредсказуемыми извержениями вулкана.

Однако, если до изобретения телескопа можно было наблюдать только исключительно яркие внезапные вспышки, телескоп позволил следить за явлениями куда менее катастрофическими.

Поскольку Новые ассоциировались именно с колоссальными яркостями, никто и не пытался искать слабые Новые, а потому на протяжении двух с половиной веков о них не было ни одного сообщения. Затем в 1848 г. английский астроном Рассел Хайнд (1823—1895), ведя наблюдения за одной из звезд в созвездии Змееносца, обнаружил, что она внезапно стала ярче. В максимуме она достигла только 5-й величины и невооруженному глазу представилась бы лишь очень слабой звездой, так что до изобретения телескопа ее, вероятно, просто не заметили бы. И тем не менее это была Новая.

С этих пор начались поиски Новых любой яркости, и они обнаружились в удивительно большом количестве. Одна из них, вспыхнувшая в созвездии Орла в 1918 г., на короткое время сравнялась по яркости с Сириусом. Однако все они уступали в яркости Новым 1054, 1572 и 1604 гг.

По современным оценкам, в различных областях Галактики каждый год появляется свыше двух десятков Новых, но лишь относительно немногие из них расположены так, что видны с Земли.

## **Галактика Андромеды**

Вопрос о Новых приобрел значение для проблемы туманности Андромеды в 1885 г., когда в центральной части туманности вспыхнула такая звезда. Впервые в туманности Андромеды наблюдалась звезда!

Это можно было объяснить двумя способами. Звезда могла находиться между туманностью Андромеды и нами и казалась расположенной в туманности только потому, что оба объекта и Земля лежали на одной прямой. В таком случае между звездой и туманностью не существовало бы никакой реальной связи. Но имелась и другая возможность: туманность Андромеды состоит из звезд, слишком слабых, чтобы их можно было различить, а теперь одна из них вспыхнула, как Новая, и стала видима в телескоп.

Если верным было второе предположение, то это позволило бы оценить расстояние до туманности Андромеды, исходя из предположения, что светимость всех Новых в

максимуме примерно одинакова. Тогда различие в их видимой яркости объяснялось бы исключительно разницей в расстоянии, и достаточно было бы найти расстояние до одной Новой, чтобы затем вычислить его для всех остальных. Такая возможность представилась в 1901 г., когда Новая вспыхнула в созвездии Персея. Это была необычно близкая Новая — расстояние до нее, оцененное по ее параллаксу, равнялось примерно 100 световым годам.

Появившаяся в туманности Андромеды Новая, которую теперь называют S Андромеды, в максимуме достигла только 7-й величины (так что если бы не телескоп, она осталась бы незамеченной), а Новая Персея достигла величины 0,2. Если обе Новых действительно имели в максимуме одинаковую светимость, то S Андромеды, судя по ее видимой яркости, должна была находиться в 16 раз дальше. И в 1911 г. было решено, что расстояние до S Андромеды составляет 1600 световых лет.

Если S Андромеды действительно принадлежала к туманности Андромеды, то и туманность должна была находиться от нас на расстоянии в 1600 световых лет. Если же S Андромеды просто лежала на одной линии с туманностью, это означало, что туманность находится от нас еще дальше. В любом случае она оказывалась по меньшей мере в 80 раз дальше, чем это было вычислено по ее видимому параллаксу в 1907 г. А если она находилась от нас на расстоянии в 1600 световых лет, то, судя по ее видимым в телескоп размерам, она должна была быть очень большой. Вряд ли она могла быть всего лишь планетной системой в процессе образования, как предполагал Лаплас. Но и мнение Канта тоже еще нельзя было принять. Даже и на расстоянии в 1600 световых лет туманность Андромеды оставалась частью Галактики.

Однако во всех этих рассуждениях предполагалось, что S Андромеды и Новая Персея имели в максимуме одинаковую светимость. А что, если это предположение было неверно? Что, если светимость S Андромеды значительно превосходила светимость Новой Персея? Или, наоборот, значительно ей уступала? Как можно было это установить?



Американский астроном Хабер Доуст Кертис (1872—1942) решил, что ответить на этот вопрос можно, только отыскав в туманности Андромеды другие Новые. Изучение многих явлений могло объяснить то, чего нельзя было понять, изучая изолированное явление. Поэтому он нашел и исследовал целый ряд Новых в туманности Андромеды, что позволило ему сделать два вывода.

Во-первых, число Новых, обнаруженных в этой туманности, было столь велико, что предположение, будто они с ней не связаны, отпадало само собой. Нелепо было бы считать, что все эти новые звезды совершенно случайно вспыхнули точно на одной линии между нами и этой туманностью. Подобная случайная концентрация Новых была абсолютно невероятной. А из этого в свою очередь следовало, что туманность Андромеды — не просто облако пыли и газа, пассивно отражающее свет звезд. Она, несомненно, сама состояла из множества звезд — из огромного множества, судя по тому, как много среди них находилось Новых (весьма редких звезд). А поскольку разглядеть эти звезды не удавалось даже в самый сильный телескоп, приходилось предполагать, что туманность находится от нас чрезвычайно далеко. Во-вторых, все Новые, наблюдавшиеся в туманности Андромеды с 1885 г., были гораздо слабее S Андромеды. Поэтому Кертис в 1918 г. указал, что сравнивать с Новой Персея следует именно эти Новые, а S Андромеды была исключительной, необычно яркой Новой.

Если же светимость обыкновенных Новых в туманности Андромеды была равна светимости Новой Персея, то столь большая разница в их видимой яркости могла бы объясняться только гигантским расстоянием — по меньшей мере в сотни тысяч световых лет. Такое расстояние объяснило бы также, почему в этой туманности не удастся различить отдельные звезды: они для этого слишком слабы, если только не вспыхивают как Новые. Но если туманность Андромеды действительно находится на таком расстоянии от нас, она лежит уже далеко за пределами Галактики и, судя по ее видимым размерам, должна представлять собой гигантское скопление колоссального множества звезд. Это действительно островная вселенная того типа, о котором когда-то писал

Кант Выводы Кертиса были приняты далеко не всеми астрономами, и даже Шепли не согласился с ним.

Но тут выступил американский астроном Эдвин Пауэлл Хаббл (1889—1953). Ему было ясно, что ссылка на Новые ничего не доказывает, поскольку о самих Новых известно слишком мало. Если же туманность Андромеды действительно была вселенной-островом, то в этом случае новый телескоп — более мощный, чем те, которыми располагали астрономы XIX в., — возможно, разрешил бы вопрос, позволив обнаружить в этой туманности отдельные звезды. Обычные звезды, гораздо менее таинственные, чем Новые, могли бы дать материал для более надежных выводов об этой туманности.

В 1917 г. на обсерватории Маунт-Вилсон, к северо-востоку от Пасадены, был установлен новый телескоп. Его зеркало имело невиданный диаметр в 100 дюймов (2,5 м) — это был тогда самый мощный телескоп в мире (он оставался самым мощным очень долго).

Хаббл навел этот телескоп на туманность Андромеды и сумел различить отдельные звезды по ее краям. Вопрос был решен: туманность Андромеды состояла из звезд, а не из газа и пыли.

К концу 1923 г. Хабблу удалось обнаружить в туманности Андромеды переменную звезду, обладавшую всеми свойствами цефеиды. Вскоре он открыл там и другие цефеиды.

Именно это ему и требовалось. К этому времени Шепли уже разработал метод определения расстояний по цефеидам, и периоды цефеид Андромеды давали Хабблу возможность сразу узнать их реальную светимость, разумеется, если цефеиды туманности Андромеды подчинялись тем же законам, что и цефеиды Галактики и Магеллановых Облаков.

Определив же светимость цефеид в туманности Андромеды, можно было по их видимой яркости вычислить расстояние до них, а тем самым и до туманности. Хаббл высчитал, что это расстояние равно приблизительно 800 000 световых лет.

Таким образом, к середине 20-х годов нашего века вопрос этот был разрешен окончательно и с тех пор сомнений не вызывал. Туманность Андромеды не входит

в Галактику и лежит далеко за ее пределами. Это огромное независимое скопление звезд, подлинная островная вселенная. Кант был прав, а Лаплас ошибался.

Поэтому Хаббл отнес туманность Андромеды к классу внегалактических туманностей в отличие от обычных галактических туманностей, вроде туманности в созвездии Ориона. Однако Шепли, уже принявший эту новую точку зрения, считал такое наименование неправильным. Он полагал, что даже терминологически туманность Андромеды не следует приравнивать к туманности Ориона. Ее можно было сопоставить только с самой Галактикой. Туманность Андромеды была такой же самостоятельной галактикой, и Шепли предложил называть все подобные объекты галактиками.

Поэтому теперь мы говорим о галактике Андромеды. Нашу собственную галактику мы отличаем от остальных либо тем, что пишем это слово с заглавной буквы, как я делал в этих главах — «Галактика», либо называем ее «Млечный Путь»

## ***Спиральные галактики***

Галактика Андромеды — это отнюдь не игра природы и не единственный объект, лежащий вне нашей Галактики. Она принадлежит к целому классу таких объектов, хотя, бесспорно, намного превосходит их по видимой яркости, и, если не считать Магеллановых Облаков, единственная из них, видимая невооруженным глазом<sup>1)</sup>.

Мессье в своем каталоге 1781 г. перечислил несколько десятков туманностей, в которых, как и в Андромеде, не удавалось различить ни множества мелких, ни отдельных ярких звезд и которые в конце концов тоже оказались галактиками. Вильям Гершель в своем общем обзоре небес указал положение 2500 таких туманностей, а его сын Джон Гершель, составляя соответствующий обзор неба южного полушария, обнаружил там их столько же. Их находили по всему небу, за исключением

---

<sup>1)</sup> Таким образом, галактика Андромеды замечательна тем, что представляет собой наиболее удаленный от нас объект, который можно увидеть невооруженным глазом

плоскости Млечного Пути. По мнению астрономов, там они тоже были, однако их заслоняли облака пыли и скопления звезд, расположенные преимущественно в этой плоскости.

К началу XX в. было известно уже 13 000 туманностей типа Андромеды и имелись все основания полагать, что еще многие будут обнаружены впоследствии.

Ирландский астроном Вильям Парсонс, третий граф Росс (1800—1867), изучил эти туманности подробнее других астрономов XIX в. Он установил в своем поместье 72-дюймовый телескоп, но погода чаще всего была такой скверной, что он очень мало пользовался этим инструментом. Тем не менее он изучал туманности и заметил, что некоторые из них обладают отчетливым спиральным строением — они походили на водовороты света на черном фоне космического пространства.

Они кажутся плоскими, и если повернуты к нам ребром, то представляются просто вытянутыми линзоподобными объектами (вроде нашей собственной Галактики), при этом их спиральная структура — если она действительно спиральная — не видна. Но другие туманности повернуты к нам своей плоскостью, так что их спиральная структура прекрасно различима. Особенно эффектно туманность М 51, коготорой дали и более романтическое название «туманность Водоворот» (или в наши дни «галактика Водоворот»)

Поэтому астрономы начали говорить о новом классе объектов — о спиральных туманностях, или, как их называют теперь, о спиральных галактиках. Они состоят из центрального сгущения, в одних случаях относительно небольшого, а в других — значительно более крупного, так называемого ядра галактики. Вне его располагаются спиральные ветви.

Свойства галактических ядер и спиральных ветвей весьма различны. Ядра сходны с гигантскими шаровыми скоплениями и, подобно им, как будто содержат относительно мало пылевых облаков. Спиральные же ветви изобилуют пылевыми облаками, которые нередко бывают отчетливо видны.

Наиболее заметна пыль в тех галактиках, которые случайно повернуты к нам ребром. В качестве примера

можно назвать NGC 891<sup>1)</sup> в созвездии Андромеды. Пылевые облака образуют темную зубчатую линию вдоль ее экватора. Хорошо видна пыль и в красивой галактике в созвездии Девы, ядро которой огромно, а спиральные ветви относительно компактны. Она видна почти точно с ребра, и пыль в ее ветвях охватывает ее эллипсом по краю. Больше всего это похоже на кольцо Сатурна, только темное. Темная кайма похожа на ленту шляпы, и эта галактика получила наименование «галактика Сомбреро».

Примерно 75% галактик обладает спиральной структурой. К их числу, несомненно, относится галактика Андромеды, хотя ее мы видим настолько сбоку, что спиральные ветви различаются далеко не так четко, как хотелось бы. Тем не менее внешний вид галактики Андромеды производит сильное впечатление. спирали настолько заметны, что предположение Лапласа, будто это масса вращающегося газа, кажется весьма правдоподобным. Принято считать, что наша собственная Галактика также обладает спиральной структурой и по виду очень сходна с галактикой Андромеды (хотя последние исследования дают основания предполагать, что ядро нашей Галактики не столь велико). Солнце находится в одной из спиральных ветвей Галактики, поэтому нас окружают пылевые облака, заслоняющие основную часть Галактики. 20% галактик — шаровидные или эллиптические; они, по-видимому, состоят только из галактического ядра, а спиральных ветвей не имеют. Такие галактики принято называть эллиптическими.

Остальные 5% — это неправильные галактики, которые вообще не обладают четко выраженной структурой. В качестве наиболее типичного примера таких галактик часто называют Магеллановы Облака, но в 50-х годах нашего века против этой точки зрения выступил американский астроном, француз по национальности, Жерар Анри Вокулер (род. в 1918 г.), который заявил, что они обладают спиральной структурой. Большое Магелланово Облако, указывал он, имеет только одну ветвь протяжен-

---

<sup>1)</sup> Галактики часто обозначают номерами, под которыми они числятся в «Новом общем каталоге туманностей и скоплений» (New General Catalogue), издававшемся с 1888 по 1908 г и обычно сокращенно называемом NGC

постью в несколько тысяч световых лет. А Малое Магелланово Облако мы видим практически сбоку и потому его спиральную структуру (если она действительно существует) заметить не можем.

Современные астрономы не могут назвать верхнего предела для числа галактик. Благодаря более совершенным астрономическим инструментам и более тщательным наблюдениям число обнаруженных галактик непрерывно увеличивается, и нет никаких признаков их поредения в каком-либо направлении. По оценке астрономов, общее число галактик в той части Вселенной, которая доступна нашим наблюдениям, возможно, достигает 100 000 000 000, причем пока нет никаких оснований утверждать, что их действительное число не может быть неизмеримо больше.

Галактика Андромеды — самая яркая из несомненно спиральных галактик и самая близкая из них. Если расстояние до галактики Андромеды действительно составляет 750 000 световых лет, то наиболее слабые из различимых галактик должны находиться от нас в сотнях миллионов и даже в миллиардах световых лет.

К 1925 г. границы Вселенной, которую представлял себе человек, вновь неимоверно раздвинулись. Собственно говоря, астрономы вновь столкнулись с проблемой бесконечности. За 100 лет до этого парадокс Ольберса, казалось, опроверг возможность существования бесконечной Вселенной, а обнаруженная Гершелем конечность Галактики как будто подтвердила это. И в течение целого века безраздельно царил идея конечной Вселенной. Но теперь не было никаких признаков конечности этой новой, более обширной, слагавшейся из галактик Вселенной, и астрономы вновь столкнулись с парадоксом Ольберса, в котором место звезд заняли галактики.

На этот раз, однако, проблема протяженности Вселенной в пространстве (конечна она или нет) оказалась тесно связанной с вопросом о протяженности ее во времени (вечна она или нет).

До сих пор я рассматривал только проблему протяженности Вселенной в пространстве. Но теперь, прежде чем продолжить обсуждение этой темы, нужно будет заняться проблемой протяженности Вселенной во времени.

## Глава 7

# Возраст Земли

### *Момент количества движения*

Пока астрономы считали небеса неизменными, само собой разумелось, что они и вечны. Ведь начало и конец — это, бесспорно, наиболее радикальные из всех возможных изменений, а все, что могли наблюдать в небесах астрономы древности, вовсе не указывало на какое бы то ни было начало или конец. (Правда, люди говорили о сотворении и разрушении Вселенной некими сверхъестественными силами и даже подробно описывали эти процессы, но такие описания опирались на видения пророков, а не на какие-либо астрономические наблюдения.)

Однако в конце Средневековья было признано, что небеса не абсолютно неизменны — лучшим доказательством тому служили Новые. Поэтому встал вопрос, а не вытекает ли из этого возможность и наиболее решительных из всех изменений, а именно начала и конца, если же да, то когда было начало Вселенной и когда может наступить ее конец?

Приступить к разрешению этой проблемы проще всего было на примере солнечной системы, которая к 1700 г. была уже изучена достаточно подробно.

В 1687 г. Ньютон создал теорию всемирного тяготения, согласно которой каждое тело во Вселенной притягивает все остальные тела с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.

В солнечной системе масса Солнца настолько преобладает над массами планет, что оно остается почти неподвижным, а значительно менее массивные планеты, подчиняясь силе солнечного тяготения, обращаются вокруг

него по эллиптическим орбитам. (В действительности Солнце под влиянием притяжения планет тоже движется. Центр тяжести солнечной системы, вокруг которого обращаются и Солнце и планеты, расположен вблизи центра Солнца, но не совпадает с ним. Порой он даже выходит за пределы солнечного шара. Впрочем, это лишь ничтожная деталь огромной картины, и можно с достаточной точностью полагать, что планеты обращаются вокруг практически неподвижного Солнца)

Нельзя считать солнечную систему неизменной в том смысле, что она раз навсегда зафиксирована в пространстве и неподвижна, так как все составляющие ее части (и даже само Солнце) постоянно движутся относительно центра ее тяжести

Но отсутствие статического равновесия не означает отсутствия равновесия динамического. Другими словами, хотя все части системы движутся, не исключена возможность, что каждое движение в ней периодически повторяется вновь и вновь, без конца и без заметных изменений, и в этом смысле солнечную систему все же можно считать неизменной

Но можно ли предположить, что все эти движения действительно периодически повторяются? Да, конечно, Земля обращалась бы вокруг Солнца строго периодически, ни на йоту не изменяя своей орбиты, если бы Земля и Солнце были единственными телами во Вселенной. Но это не так: все остальные члены Вселенной воздействуют своим тяготением на систему Земля—Солнце. На движение Земли влияет притяжение соседних планет, и Луны, и даже далеких звезд.

При вычислении точной орбиты Земли приходится учитывать и эти незначительные влияния (возмущения). Возмущениям подвержены и движения остальных планет.

За сравнительно короткое время такие возмущения не оказывают сколько-нибудь серьезного воздействия на солнечную систему. На протяжении всей истории человечества и день, и год оставались практически неизменными, а планеты не сбивались с положенного пути. Но история астрономических наблюдений исчерпывается в лучшем случае несколькими тысячелетиями, а для



истории солнечной системы это лишь краткое мгновение. Что же могло произойти за более долгий срок?

Теоретически с помощью закона всемирного тяготения можно предсказать движение любого тела во Вселенной под влиянием тяготения всех остальных тел. И весь механизм солнечной системы можно было бы прокручивать (математически) бесконечно далеко вперед и назад, что, собственно говоря, и делается в современных планетариях для коротких промежутков времени. Таким способом можно было бы проверить, не происходят ли в нем какие-либо систематические изменения, из-за которых тела солнечной системы могли быть в далеком прошлом ближе друг к другу, или в далеком будущем разойтись дальше.

К несчастью, такое прямое исследование неосуществимо. Уравнения, которые пришлось бы составить для исследования движения только трех тел под влиянием взаимного тяготения, столь сложны, что получить их полное решение невозможно. Что же можно сказать о солнечной системе, состоящей из десятка крупных тел и неизвестного количества мелких? Поэтому пришлось проводить приближенные расчеты, но даже и они составили труд всей жизни многих первоклассных ученых.

За эту задачу взялся французский астроном Жозеф Луи Лагранж (1736—1813), а затем Лаплас, который в конце концов дал ее удовлетворительное решение в своем пятитомном труде «Небесная механика», опубликованном в 1799—1825 гг. Он доказал, что возмущения, правда, вызывают незначительные изменения в орбитах планет, но изменения эти носят периодический характер — элементы орбит меняются сначала в одном направлении, потом в обратном и т. д. до бесконечности. Средняя же форма орбиты за длительный период остается неизменной.

Другими словами, солнечная система находится в динамическом равновесии, может оставаться такой в будущем вечно и, возможно, вечно была такой в прошлом. (При этом, конечно, предполагается, что она не испытает никакого мощного воздействия извне, что никакая звезда не вторгнется в соседнее с нами пространство, что тяготение звезд при их нынешнем расположении нич-

гожно мало и его можно не принимать во внимание и т. д. Такие предположения вполне правдоподобны даже для длительных промежутков времени)

Хотя в самой определяемой тяготением структуре солнечной системы нет ничего такого, что мешало бы ей быть вечной, идея вечности столь же неприемлема для обыкновенного человека, как и идея бесконечности. Поэтому была сделана попытка найти начало путем привлечения каких-то иных факторов, кроме тяготения.

Например, если бы тяготение Солнца было единственным источником движения в солнечной системе, планеты просто начали бы падать по направлению к Солнцу и упали бы на него. Тот факт, что они, так же как кометы и астероиды, обращаются вокруг Солнца, а многочисленные спутники точно так же обращаются вокруг своих планет, доказывает, что каждое из этих тел обладает движением, направленным более или менее перпендикулярно к силе солнечного тяготения. Это движение не могло возникнуть — и не возникло — под влиянием тяготения Солнца. Так откуда же оно взялось?

Эту мысль можно выразить и по-другому. При любом примерно круговом движении, независимо от того, вращается ли объект вокруг собственной оси или обращается вокруг другого, более крупного тела, движущееся тело обладает определенным качеством, которое получило название момента количества движения. Величина того момента количества движения, которым обладает данное тело, зависит от трех факторов: от его массы, от скорости его кругового движения и от расстояния между ним (или различными его частями) и центром, вокруг которого эта масса движется<sup>1)</sup>.

К XVIII в. физики, наблюдая соответствующие явления на Земле, установили, что момент количества движения не создается и не уничтожается, но может переда-

---

<sup>1)</sup> Точнее, моментом количества движения тела малых размеров («материальной точки») называется произведение массы этого тела на его скорость и на расстояние от оси вращения. Если размеры тела не малы, а сравнимы с расстоянием до оси вращения, то для вычисления момента количества движения нужно мысленно разбить это тело на малые частицы, подсчитать момент количества движения для каждой частицы и результаты сложить — *Прим. ред.*

ваться, не увеличиваясь и не уменьшаясь, от одного тела к другому. Это закон сохранения момента количества движения. Не было (как нет и теперь) никаких оснований считать, что закон этот справедлив только для Земли и не действует во Вселенной. А если так, то любая теория о возникновении Вселенной (или какой-нибудь значительной ее части) не должна подразумевать нарушения этого закона.

Если момент количества движения нельзя создать, то откуда же он берется? Возможный выход из этого кажущегося тупика состоит в том, что можно различать два вида момента количества движения в зависимости от направления вращения — по часовой стрелке или против часовой стрелки.

Можно считать момент количества движения при вращении по часовой стрелке положительным и приписать ему знак плюс, а при вращении против часовой стрелки — отрицательным и приписать ему знак минус. При сложении равных моментов противоположного знака они взаимно уничтожаются и возникает система, вообще лишенная момента количества движения. И наоборот, система, не имеющая момента количества движения, может разделиться на две: одну — с положительным моментом и другую — с равным ему отрицательным. Таким образом, момент количества движения как бы исчезает и создается вновь без какого-либо нарушения закона его сохранения.

Можно, например, предположить, что вначале Вселенная не обладала моментом количества движения, но что в процессе ее образования какие-то ее части получили момент одного знака, а остальные — другого.

Если взглянуть на солнечную систему из точки, расположенной высоко над северным полюсом Земли, то мы увидим, что Солнце, Земля и большинство других тел системы вращаются вокруг своей оси против часовой стрелки. Планеты и спутники в подавляющем большинстве обращаются вокруг своих центральных тел также против часовой стрелки. Это означает, что солнечная система не обладает равными моментами количества движения противоположного знака и, следовательно, не может считаться системой, вообще лишенной момента

количества движения. Наоборот, солнечная система обладает большим моментом количества движения, и любая теория, объясняющая ее происхождение, должна учитывать это обстоятельство

Предположим, например, что солнечная система возникла из облака пыли и газа, как это утверждал Лаплас в своей небулярной гипотезе (см стр 104) Такое облако уже могло обладать запасом момента количества движения — тем запасом, который выпал на его долю, когда возникла вся Вселенная Или же, если предположить, что облако не обладало моментом количества движения с самого начала, оно могло испытывать очень слабое воздействие тяготения какой-нибудь из ближайших звезд При этом тяготение сильнее действовало бы на тот край облака, который находился ближе к звезде В результате облако получило бы первоначальный толчок и начало бы вращаться Облак приобрело бы момент количества движения за счет воздействовавшей на него звезды, а ее исходный запас момента соответственно уменьшился бы

Но каков бы ни был источник вращательного движения, в этом медленно вращающемся облаке существовало бы взаимное тяготение составлявших его частиц, и под влиянием этого тяготения оно стало бы медленно сжиматься По мере сжатия его различные части все более приближались бы к центру, вокруг которого они все обращались. Общее расстояние до центра уменьшалось бы, что привело бы к исчезновению части момента количества движения, если бы это уменьшение расстояния не компенсировалось увеличением скорости вращения (Момент количества движения зависит от обоих этих факторов и, кроме того, от массы, но масса при описываемом процессе не изменяется, а потому учитывать необходимо только расстояние и угловую скорость. Уменьшение одного из этих факторов автоматически приводит к увеличению другого.)

Поэтому из закона сохранения момента количества движения неминуемо следует, что огромный вращающийся газовый шар по мере его сжатия будет вращаться все быстрее и быстрее. Экватор под действием непрерывно возрастающей центробежной силы вздуется, и шар начнет превращаться во все более и более сплюснутый эл-

липсоид. В конце концов от экваториальной плоскости эллипсоида начнут время от времени отрываться сгустки вещества, которые сконденсируются в планеты.

Лапласовская небулярная гипотеза, казалось, объясняла очень многие факты и выглядела весьма убедительной. На протяжении XIX в. она пользовалась большой популярностью среди астрономов, да и среди широкой публики тоже. Более того, важные открытия в физике, которые приносило каждое новое десятилетие XIX в., как будто подтверждали небулярную гипотезу, и она, видимо, позволяла разработать метод определения возраста Земли.

## *Сохранение энергии*

В 40-х годах XIX в. был твердо установлен новый закон природы, даже еще более всемогущий, чем закон сохранения момента количества движения. Это был закон сохранения энергии. В выведении его участвовали многие ученые, но первым его четко сформулировал в 1847 г. немецкий физик Герман Людвиг Фердинанд Гельмгольц (1821—1894).

Закон сохранения энергии гласит, что энергия может переноситься из одного места в другое, но не может создаваться из ничего или уничтожаться.

Солнечная система обладает не только огромным запасом момента количества движения, но также и колоссальным запасом энергии. Возникает вопрос: откуда берется эта энергия?

Однако вопрос о происхождении энергии, которой обладает солнечная система, принципиально отличается от вопроса о происхождении ее момента количества движения. Можно просто сказать, что момент количества движения солнечной системы возник при ее образовании (как описывалось в предыдущем разделе), и этим вполне удовлетвориться. Момент количества движения солнечной системы практически не убывает. Он может уменьшиться только в результате взаимодействия с бесконечно удаленными от нас звездами или с невероятно разреженными клочками межзвездного вещества. Но такие процессы отнимали бы или добавляли бы ничтожно

мало момента количества движения по сравнению со всем имеющимся в солнечной системе запасом, и их вообще можно не принимать во внимание даже для очень больших периодов. По-видимому, мы с достаточной уверенностью можем предположить, что солнечная система

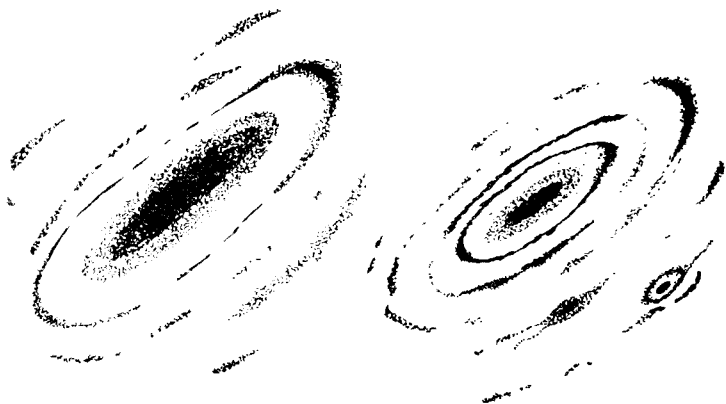


Рис 20 Небулярная гипотеза

сейчас обладает точно таким же запасом момента количества движения, как, скажем, несколько миллионов лет назад, и таким же, каким она будет обладать через несколько миллионов лет.

С энергией дело обстоит совсем иначе. Энергия существует в солнечной системе во многих формах, и одна из этих форм — излучение, которое непрерывно испускается Солнцем. Количество энергии, содержащейся в излучении, поистине колоссально, и буквально вся она стремительно изливается во всех направлениях в бескрайние пространства за пределами солнечной системы. Более того, насколько мы можем судить, обратно не возвращаются даже самые малые доли ее.

Это означает, что общее количество энергии в солнечной системе должно постоянно уменьшаться. И когда-нибудь оно должно настолько приблизиться к нулю, что солнечная система — такая, какой мы ее знаем — прекратит свое существование. Если обратиться в прошлое, то

количество энергии в солнечной системе должно быть все больше и больше по мере того, как мы будем все дальше и дальше уходить назад. Если только мы не примем, что вначале количество энергии было бесконечным (а на это не согласится ни один астроном), то придется признать, что должен был существовать какой-то определенный момент, когда солнечная система возникла с первоначальным запасом энергии, намного превосходящим тот, которым она располагает сейчас.

Первым об этом подумал сам Гельмгольц, он поставил вопрос об источнике энергии, которую Солнце так беззаботно расточает в столь царственных количествах, что ничтожнейшая ее часть, получаемая крохотной Землей на расстоянии в 150 000 000 км, вполне и с огромным избытком покрывает все энергетические нужды человечества.

В XIX в. наиболее обычным для человека способом добывания энергии было сжигание угля. В этом случае тепло и свет получались за счет химической энергии, связывающей атомы. Когда уголь соединялся с кислородом, для поддержания целостности получившихся молекул двуокиси углерода требовалось меньше химической энергии, чем для исходных молекул угля и кислорода. Избыток энергии, не нужный больше для связывания атомов, выделялся в виде света и теплоты.

Количество энергии, которую можно получить при соединении определенных масс угля и кислорода, было уже известно, так же как и количество энергии, ежесекундно излучаемой Солнцем. Нетрудно было подсчитать, что если бы вся масса Солнца (величина тоже известная) состояла из угля и кислорода в нужной пропорции, то возникший в результате угольный костер мог бы поддерживать существование Солнца при нынешних темпах его излучения всего лишь 1500 лет.

Известны химические реакции, при которых выделяется больше энергии на единицу массы, чем при горении угля, но ни одна из известных нам реакций не могла бы поддерживать горение Солнца даже на протяжении истории человечества, не говоря уже о доисторических временах. Гельмгольцу пришлось искать какой-то другой источник энергии.

Колоссальным источником энергии является само поле тяготения. Когда метеорное тело врезается в земную атмосферу, двигаясь с огромной скоростью, порожденной тяготением Земли и Солнца, энергия движения превращается в свет и теплоту. Даже частица величиной с булавочную головку способна светиться так, что ее видно с расстояния в несколько сот километров.

Предположим, что метеорные тела постоянно врезаются в Солнце и что энергия их порожденного тяготением движения превращается в излучение. Можно подсчитать, что, если бы такой метеорный дождь имел интенсивность, необходимую для поддержания солнечного излучения на нынешнем уровне, Солнце на протяжении истории человечества не претерпело бы каких-либо видимых изменений. Такая бомбардировка увеличила бы его массу за 300 000 лет всего на 1%.

Эти расчеты казались обнадеживающими, но одно соображение портило всю картину. В результате такой метеорной бомбардировки, которая необходима для поддержания деятельности Солнца, его масса возрастала бы очень медленно, но достаточно для того, чтобы заметно увеличивалось его тяготение. Земля, притягиваемая с каждым годом все сильнее, стала бы двигаться все быстрее и быстрее, так что каждый год был бы на 2 *сек* короче предыдущего. Это, конечно, счень мало, но астрономы без всякого труда сразу заметили бы такое сокращение года. А раз его обнаружено не было, от теории метеорного дождя пришлось отказаться.

В 1853 г. Гельмгольц обратился к другому предположению. А что, если само Солнце сжимается и его внешние слои, так сказать, падают по направлению к его центру? Энергия этого движения, вызванного тяготением, могла бы преобразоваться в излучение точно так же, как и энергия падающих метеорных тел, но масса Солнца при этом не менялась бы и продолжительность земного года оставалась бы прежней.

Вопрос: какая скорость сжатия требуется для того, чтобы обеспечить нынешнюю интенсивность солнечного излучения? Ответ: весьма незначительная.

Можно было высчитать, что за все 6000 лет истории цивилизации диаметр Солнца уменьшился бы только на



900 км, а это в сравнении с его нынешним диаметром в 1 390 600 км было бы совершенно незаметно. Уменьшение диаметра Солнца за 250 лет, протекших со дня изобретения телескопа до эпохи Гельмгольца, составило бы только 37 км — величину, которую нельзя было бы обнаружить даже с помощью самых точных астрономических инструментов того времени.

Источник солнечной энергии был, таким образом, объяснен вполне приемлемо для той эпохи. К тому же гельмгольцевская гипотеза сжатия прекрасно сочеталась с небулярной гипотезой Лапласа — можно было представить себе, как энергия производилась все то время, пока сжималась первоначальная туманность. А теперешнее сжатие Солнца можно было считать заключительной фазой общего сжатия туманности.

Более того, предположив, что энергия на протяжении всего этого периода сжатия излучалась в тех же количествах, что и теперь, можно было вычислить, когда именно первоначальная туманность достигала той или иной степени сжатия по мере своего превращения в нынешнее относительно небольшое и раскаленное Солнце.

Например, 18 000 000 лет тому назад первоначальная туманность имела бы диаметр примерно в 300 000 000 км и этот огромный шар занимал бы пространство, включавшее нынешнюю орбиту Земли. Именно 18 000 000 лет назад (согласно гипотезе Лапласа) от нее и должно было отделиться то кольцо, которое затем сгустилось в Землю. Следовательно, возраст Земли не мог превышать 18 000 000 лет.

Согласно такому ходу рассуждений, планеты, расположенные к Солнцу ближе, чем Земля (Венера и Меркурий), образовались заметно позже, а Марс, Юпитер и т. д. — раньше. Продолжительность же всей жизни солнечной системы, начиная с возникновения туманности, могла составлять несколько сот миллионов лет.

## **Ядерная энергия**

Если бы Гельмгольц выдвинул свою гипотезу не в 1853, а в 1803 г., возраст Земли в 18 000 000 лет показался бы вполне удовлетворительным и даже слишком боль-

шим. Собственно говоря, на заре XIX в большинство европейских ученых еще находилось под гипнозом буквального понимания библейских текстов, а потому считалось, что Земля существует всего лишь около 6000 лет. И цифра в 18 000 000 лет показалась бы этим ученым кощунственно огромной.

Но первая половина XIX в. ознаменовалась коренным переворотом в их взглядах. В 1785 г. шотландский геолог Джеймс Хуттон (1726—1797) опубликовал книгу под названием «Теория Земли», в которой рассмотрел медленные изменения земной поверхности — отложение осадков, выветривание скал и т. п. Он исходил из «принципа единообразия», согласно которому любые изменения, происходящие в наше время, и в прошлом протекали примерно с той же скоростью. Если принцип единообразия был верен, то это означало, что потребовалось колоссальное время, чтобы отложения осадочных пород достигли нынешней толщины, чтобы успело произойти такое выветривание и возникли все существующие складки и другие детали рельефа поверхности Земли.

Хуттон не убедил своих современников, но между 1830 и 1833 гг. другой шотландский геолог, Чарльз Лайель (1797—1875), опубликовал свои «Основы геологии». В этой книге были популярно изложены выводы Хуттона и приведены дополнительные подтверждающие их данные. Книга Лайеля сыграла решающую роль, и с тех пор геология стала измерять историю Земли сотнями миллионов лет.

Поэтому, когда Гельмгольц определил предельный возраст Земли в 18 000 000 лет, геологи очень удивились. Кольцо газа и пыли просто не могло успеть за 18 000 000 лет сгуститься, постепенно обрести все свойства твердого тела, обзавестись океаном и атмосферой, а затем претерпеть все дальнейшие изменения, о которых свидетельствовало нынешнее состояние земной коры.

Кроме того, к этому времени биологи пришли к заключению, что живые организмы с течением времени медленно меняются. В 1859 г. английский натуралист Чарльз Роберт Дарвин (1809—1882) опубликовал свой труд «Происхождение видов», в котором доказал, что подобные изменения возникали в результате естественного от-

бора — процесса чрезвычайно медленного, так что изменения, наблюдаемые в окаменелых остатках вымерших видов, потребовали колоссального времени.

Точка зрения Дарвина лишь с большим трудом одержала победу над религиозными предрассудками, опиравшимися на священное писание, но постепенно все больше биологов становилось ее сторонниками, и возраст Земли, указанный Гельмгольцем, их также никак не устраивал. Однако логика Гельмгольца казалась неопровержимой, а сперить с законом сохранения энергии и вовсе не приходилось.

Вот почему во второй половине XIX в. вопрос о возрасте солнечной системы, и особенно Земли, зашел в тупик. Физики защищали короткий срок, геологи и биологи — длинный.

Но в 90-х годах XIX в. в физике произошел переворот. В 1896 г. французский физик Антуан Анри Беккерель (1852—1908) открыл, что соединения урана служат постоянным источником мощной радиации. Это явление получило впоследствии название радиоактивности. По-видимому, в природе существовали источники энергии, неизмеримо более мощные, чем химические реакции или даже сжатие под влиянием тяготения.

К 1911 г. английский физик, уроженец Новой Зеландии, Эрнст Резерфорд (1871—1937) доказал, что атом — не просто монолитный шарик, но состоит из расплывчатого в его центре крохотного атомного ядра, содержащего практически всю массу данного атома и окруженного легчайшими частицами — электронами. В химических реакциях используются те силы, которые удерживают электроны на их местах возле ядра атома, и эти же силы служат источником энергии, например, при горении угля.

Атомное ядро само состоит из частиц, относящихся, как было открыто позднее, к двум разновидностям, — протонов и нейтронов. Их удерживают в ядре силы, гораздо более могучие, чем те, которые удерживают электроны вокруг ядра или соединяют вместе различные атомы и молекулы. Существуют ядерные реакции — изменения в комбинациях протонов и нейтронов, — при которых выделяется неизмеримо больше энергии, чем при любой

химической реакции. Радиоактивность — это одна из форм ядерных реакций.

В 1905 г. немецкий физик швейцарского происхождения Альберт Эйнштейн (1879—1955) обратил внимание на один довольно неожиданный аспект ядерных реакций. Эйнштейн открыл, что сама масса представляет собой чрезвычайно концентрированную форму энергии, и вывел всемирно известную ныне формулу:  $E = mc^2$ , где  $E$  — энергия,  $m$  — масса, а  $c$  — скорость света в пустоте

Если мы вспомним, что значение  $c$  очень велико (300 000 000 м/сек), а значение  $c^2$  — произведение этого гигантского числа на самое себя — величина вообще необъятная, то увидим, что даже малое количество массы эквивалентно огромному количеству энергии. Один грамм массы может быть превращен в 21 500 000 000 ккал — количество энергии, которое может быть получено при сжигании 2 500 000 л бензина.

Высвобождение энергии всегда происходит за счет исчезновения массы, но при обычных химических реакциях энергия высвобождается в таких ничтожных количествах, что потеря массы неуловимо мала. Как я уже только что сказал, для потери 1 г массы надо сжечь 2 500 000 л бензина. Ядерные реакции производят энергию в гораздо больших количествах, и тут потеря массы уже настолько велика, что становится заметной

Предположим, например, что Солнце получает свою энергию не за счет сжатия, вызванного силой тяготения, а в результате каких-то происходящих внутри него ядерных реакций. Какое количество массы Солнца должно превращаться в энергию для того, чтобы оно излучало энергию в нынешних масштабах? Вычислить это нетрудно: 4 600 000 т в секунду. Эту массу Солнце утрачивает навсегда, так как энергия, в которую она превращается, рассеивается в межзвездном пространстве.

Может ли Солнце выдержать эту непрерывную потерю массы со скоростью несколько миллионов тонн в секунду? Несомненно, ибо такой расход ничтожно мал по сравнению с колоссальной массой самого Солнца и при такой скорости ее расходования пройдут триллионы лет, прежде чем масса Солнца уменьшится хотя бы на 1%

Такая потеря массы не окажет заметного влияния на притяжение Земли к Солнцу. Уменьшение массы происходит в 30 миллионов раз медленнее, чем происходило бы ее возрастание по гипотезе метеорного дождя. Из-за убыли массы в результате ядерных реакций солнечное тяготение должно ослабляться настолько, что земной год удлинится на 1 *сек* лишь через 15 000 000 лет. Такое удлинение ничтожно мало.

Ядерные реакции как источник энергии не должны приводить к каким-либо заметным изменениям объема или внешнего облика Солнца на протяжении очень долгого времени: Солнце, а с ним и Земля могли пребывать в своем нынешнем виде не десятки миллионов, а миллиарды лет. Геологи и биологи оказались правы, а гипотеза Гельмгольца была окончательно опровергнута.

Кроме того, та же радиоактивность позволила создать новый метод определения возраста Земли, метод, куда более точный и надежный, чем все предыдущие.

По мере того как уран испускает свою радиацию, природа его атомов меняется — они становятся другими атомами, которые продолжают испускать радиацию, так что их природа снова меняется. В конце концов уран превращается в свинец — устойчивый элемент, который уже больше не изменяется.

Скорость распада урана подчиняется простому правилу, которое хорошо известно химикам как правило реакций первого порядка. Правило это означает, что, если определить скорость изменения за короткий отрезок времени, ее можно будет совершенно точно предсказать и для более долгих периодов. Например, можно установить, что половина любого количества урана распадется и перейдет в свинец за 4 500 000 000 лет. Этот гигантский промежуток времени называется периодом полураспада урана-238 (наиболее распространенной разновидности атома урана).

Представьте себе теперь, что вы исследуете породу, содержащую урановые соединения. Уран внутри нее непрерывно распадается и превращается в свинец. Пока порода остается нераздробленной, атомам свинца некуда деться и они остаются среди атомов урана. Вначале урановые соединения могли быть совершенно чистыми, но

постепенно они все больше загрязняются свинцом. Поскольку те крохотные колебания температуры и давления, которые возможны на Земле, не влияют на скорость ядерных реакций, точное количество свинца, сопутствующего урану, зависит только от времени, в течение которого данная порода оставалась целой и нераздробленной (и от количества первоначальной примеси свинца), а не от каких-либо непредсказуемых изменений внешней окружающей среды.

На это указал еще в 1907 г. американский химик Бертрам Борден Болтвуд (1870—1927); в последующие годы были проведены анализы содержания урана и свинца в породах и разработан метод использования этих анализов для определения возраста породы. И через несколько лет были обнаружены породы, которые, как показывал урано-свинцовый метод, сохранялись в первозданном виде на протяжении миллиарда с лишним лет.

В последние десятилетия разнообразные методы определения возраста Земли, связанные с измерением той или иной формы радиоактивности, дали для него достаточно достоверную величину в 4 700 000 000 лет — период, в 260 раз превосходящий тот, который был указан Гельмгольцем

## Глава 8

# Энергия Солнца

### *Планетезимальная теория*

Когда к 1920 г. было твердо установлено, что возраст Земли исчисляется несколькими миллиардами лет, естественно, возник вопрос о возрасте Солнца. Если небулярная гипотеза давала правильную картину возникновения и развития солнечной системы, то отсюда следовало, что самыми старыми планетами были внешние, самыми молодыми — внутренние, а Солнце в своей нынешней форме было моложе любой планеты. Если принять возраст Земли в 4,7 миллиарда лет, то Солнце, согласно этой гипотезе, должно было быть несколько моложе 4,7 миллиарда лет, хотя, возможно, и не на много.

К несчастью, вопрос решался датско не так просто, потому что небулярная гипотеза, господствовавшая на протяжении XIX в., вышла из моды уже в самом начале XX в.

Камнем преткновения для небулярной гипотезы явился момент количества движения. Согласно этой гипотезе, вначале существовало огромное скопление пыли и газа, обладавшее определенным запасом момента количества движения. Далее предполагался процесс постепенного сгущения, сопровождавшийся непрерывным увеличением скорости вращения всего облака, от которого затем одно за другим начали отделяться газово-пылевые кольца. Однако небулярная гипотеза даже не пыталась объяснить, как распределялся момент количества движения между кольцами, из которых образовывались планеты, и основной частью облака, продолжавшего сгущаться в Солнце.

В 1900 г. американский геолог Томас Краудер Чемберлин (1843—1928) очень тщательно изучил динамику

вращающейся туманности. Он установил, что, если бы туманность выбрасывала кольца вещества с экватора и продолжала при этом сжиматься, практически весь момент количества движения остался бы у основной ее части, а кольцу досталась бы лишь ничтожная его часть. Если бы такое кольцо могло затем сгуститься в планету (процесс, как выяснилось, весьма сомнительный), то эта планета имела бы лишь очень малый момент количества движения. В конечном счете возникла бы такая солнечная система, в которой центральное светило — Солнце — содержало бы почти весь момент количества движения системы, а потому вращалось бы вокруг своей оси чрезвычайно быстро — с периодом в половину земных суток. Момент же количества движения планет был бы так мал, что они вряд ли смогли бы удержаться на какой-нибудь постоянной орбите.

Однако эта картина не имеет ничего общего с подлинной картиной солнечной системы. На самом деле один Юпитер, на долю которого приходится примерно 0,1% массы солнечной системы, содержит полных 60% всего ее момента количества движения. Хотя диаметр Юпитера в 11 раз больше диаметра Земли, период вращения этой огромной планеты равен 10 час, т. е. он в два с лишним раза меньше земного. Прибавьте сюда остальные планеты и мелкие тела системы (все они вместе взятые содержат менее 0,1% ее массы), и окажется, что суммарный момент количества движения планет составляет 98% всего момента количества движения солнечной системы. На долю же Солнца, чья масса превышает 99,8% всей массы солнечной системы, приходится только 2% ее общего момента количества движения, и оно вращается вокруг своей оси с царственной медлительностью, делая один оборот за 24,65 суток<sup>1)</sup>.

Каким образом могла туманность передать в процессе сжатия почти весь свой момент количества движения отделившимся от нее крохотным кольцам? Чемберлин не мог найти этому правдоподобного объяснения. Он

<sup>1)</sup> Это период вращения на экваторе Солнце — не твердое тело и не вращается как единое целое подобно Земле. Области к северу и к югу от экватора вращаются медленнее. На 60° северной или южной широты период вращения составляет примерно 31 сутки.



был вынужден сделать вывод, что момент количества движения был получен солнечной системой извне.

В 1906 г. Чемберлин совместно с американским астрономом Форестом Реем Мультином предложил объяснение этого факта. Представьте себе для пачала Солнце почти в нынешней его форме, но без планет. Возможно, оно и сгустилось из туманности, однако кольца от него не отделялись, а если и отделялись, то, не располагая достаточным моментом количества движения для того, чтобы остаться независимыми, постепенно упали на главное тело или рассеялись в пространстве. Как бы то ни было, Солнце пребывало в гордом одиночестве.

Представьте себе далее, что к Солнцу приблизилась какая-то звезда. Возникшие могучие силы тяготения вызвали бы на обеих звездах гигантские приливы. Возможно, из обеих звезд вырвались языки звездного вещества и образовали между ними временный «мост». Когда звезды проходили друг мимо друга, этот «мост» из звездного вещества неминуемо должен был начать быстро загибаться и приобрел бы момент количества движения за счет движения самих звезд.



Рис 21 Планетезимальная гипотеза

Удаляясь, каждая звезда унесла с собой часть «моста», которая затем сгустилась в планеты. До сближения обе звезды вращались быстро и не имели планет, после сближения вращение их замедлилось, а вокруг них начали обращаться по орбитам планеты.

Возражения против небулярной гипотезы казались неопровержимыми, а теория Чемберлина — Мультина прекрасно ее заменяла. Она представлялась тем более привлекательной, что вместе с ней в астрономию входил почти биологический мотив. Ведь получалось, что планеты возникли как бы от брака двух звезд и что у Земли были отец и мать. Эта гипотеза царила почти 40 лет.

Так как Чемберлин и Мультион считали, что вещество, вырванное из Солнца, быстро сгустилось в маленькие плотные тела — «планетезимали», которые в свою очередь слились в планеты, их гипотеза получила название планетезимальной.

В 1917 г. английские астрономы Джеймс Хопвуд Джинс (1877—1946) и Гарольд Джеффрис (род в 1891 г.) разработали планетезимальную гипотезу более подробно и высказали предположение, что «мост», возникший между звездами, имел сигарообразную форму. Из наиболее широкой средней части моста образовались гигантские планеты Юпитер и Сатурн, а за Сатурном и внутри орбиты Юпитера возникли небольшие планеты

### *Химический состав Солнца*

Если приять планетезимальную теорию, то уже нельзя считать, что возраст Солнца примерно равен возрасту Земли, т. е. составляет 4,7 миллиарда лет. Кто знает, как долго пребывало Солнце в своем гордом одиночестве, прежде чем неведомая страница облагодетельствовала его семьей? Ведь возможно, что планетная система появилась у Солнца сравнительно недавно, а его собственное существование исчисляется десятками или даже сотнями миллиардов лет.

Подобный чудовищный срок жизни Солнца стал казаться реальным с тех пор, как был понят взаимный переход массы в энергию и обратно. Излучение Солнца поддерживалось за счет его массы, но кто мог сказать, какова была его первоначальная масса? Если она была вдвое больше современной и убывала постоянно с теперешней скоростью, то для того, чтобы обладать своей теперешней массой, Солнце должно было бы просуществовать 1500 миллиардов лет. И следовательно, при нынешней мощности излучения ему предстоит просуществовать еще 1500 миллиардов лет, прежде чем оно исчезнет совсем.

Однако представляется чрезвычайно маловероятным, чтобы масса терялась с одинаковой скоростью до полного исчезновения. Физики, работавшие с атомными ядрами, убедились, что энергия производится за счет мас-

сы обычно в тех случаях, когда ядра одного вида превращаются в ядра другого вида. При этом лишь очень незначительная часть общей массы преобразуется в энергию. Таким образом, если Солнце получает свою энергию от происходящих внутри него ядерных реакций, оно может потерять лишь незначительную долю своей массы. Затем, когда все ядра его вещества будут преобразованы в ядра нового вещества, ядерные реакции прекратятся. И хотя Солнце сохранит еще огромную массу, оно не будет производить никакой или почти никакой энергии.

Итак, количество содержащейся в Солнце энергии, а следовательно, и срок его существования в прошлом и в будущем зависят от характера происходящих в нем ядерных реакций. Но как могли ученые определить этот характер? На первый взгляд такая задача представляется неразрешимой: ведь сначала нужно определить, из каких веществ состоит Солнце и в каких условиях эти вещества находятся, а уж потом пытаться установить, какого типа ядерные реакции будут происходить в таких веществах при подобных условиях.

Да, конечно, это очень сложная задача. Во-первых, как определить химический состав Солнца с расстояния в 150 000 000 км? В начале XIX в. казалось нелепым даже мечтать о подобной возможности. Французский философ Огюст Конт (1798—1857), рассматривая вопрос об абсолютных пределах человеческого знания, в качестве примера непознанных и навеки не познаваемых фактов привел и химический состав небесных тел.

Однако не все, что связано с Солнцем, находится от нас на расстоянии в 150 000 000 км. Его излучение преодолевает космическое пространство и достигает нас. По мере того как XIX в. близился к концу, ученые находили все новые способы извлекать все больше сведений из этого излучения. (С его помощью, например, были измерены лучевые скорости звезд.) Вернемся же к спектру и к его линиям.

В 1859 г. немецкий физик Густав Роберт Кирхгоф (1824—1887) и его сотрудник немецкий химик Роберт Вильгельм Бунзен (1811—1899) начали внимательно изучать спектры различных паров, нагреваемых в прак-

тически бесцветном пламени бунзеновской горелки (нагревательного прибора, вошедшего в широкое употребление благодаря Бунзену; в нем для получения более эффективного горения и более горячего пламени газ смешивается с воздухом). Нагретые пары давали эмиссионный спектр — яркие линии на темном фоне. Характер этих линий зависел от того, какие элементы присутствовали в парах. Каждый элемент имел свою собственную, только ему одному свойственную систему ярких линий, и два разных элемента никогда не показывали одинаковых линий в одинаковых местах спектра. Эмиссионный спектр служил «отпечатком пальцев» для элементов, присутствовавших в раскаленных парах. Так, Кирхгоф и Бунзен заложили основы спектроскопии.

На следующий год, изучая спектры различных минералов, Кирхгоф и Бунзен обнаружили линии, не свойственные ни одному из известных им элементов. Они заподозрили присутствие каких-то еще не открытых элементов, что и было подтверждено химическим анализом. Новые элементы получили названия «цезий» и «рубидий» от латинских слов «небесно-голубой» и «красный» — в честь линий, которые привели к их открытию. Цезий и рубидий были первыми элементами, открытыми благодаря спектроскопии, но отнюдь не последними.

Кирхгоф и Бунзен сделали еще больше. Они исследовали спектр раскаленного твердого тела (испускавшего белый свет, который давал непрерывный спектр) и пропускали его свет через более холодный пар. Они обнаружили, что пар поглощает световые волны определенной длины и что поэтому после того, как свет был пропущен через пар, его спектр уже не был непрерывным — он пересекался темными линиями, отмечавшими место поглощенных световых волн. Это был спектр поглощения, и сразу стало ясно, что примером такого спектра может служить спектр Солнца. Горячая поверхность собственно Солнца испускает белый свет, образующий непрерывный спектр, а когда этот свет проходит через солнечную атмосферу (которая тоже достаточно горяча, но все же холоднее самого Солнца), некоторые световые волны поглощаются. Вот чем объяснялись темные линии в солнечном спектре.

Кирхгоф заметил, что холодный пар поглощает как раз те волны, которые он испускает в раскаленном состоянии. Предположим, например, что пары элемента натрия раскалятся до такой степени, что начнут светиться. Полученный свет будет ярко-желтым. Если пропустить его через узкую щель, а потом через призму, появятся две близко расположенные друг к другу желтые линии, которые и составят весь эмиссионный спектр натрия.

Если же пропустить через относительно холодные пары натрия белый свет угольной дуги, то ее обычно непрерывный спектр будет нарушен двумя близко расположенными друг к другу темными линиями в его желтой части. Темные линии, возникающие благодаря поглощению световых волн холодными парами натрия, окажутся точно в тех же местах, которые занимают яркие линии, излучаемые раскаленными парами натрия. Темные линии спектра поглощения могут служить для опознания элемента так же, как и яркие линии эмиссионного спектра.

Что же можно было сказать о солнечном спектре и о линиях поглощения в нем? Одна из наиболее заметных линий этого спектра (та, которую Фраунгофер обозначил буквой D) действительно находится на месте линии натрия. Чтобы проверить это, Кирхгоф пропустил солнечный свет через пары натрия и обнаружил, что линия D стала более четкой и заметной. Более того, пропуская солнечный свет через раскаленные, светящиеся пары натрия, он восполнял в солнечном спектре недостающую линию натрия, и темная линия D исчезала.

А раз линии, получаемые в лаборатории, совпадали с линиями солнечного спектра, логично было предположить, что эти последние тоже принадлежали натрию и что, следовательно, в атмосфере Солнца имеется натрий. Точно так же было установлено, что темные линии H и K — это линии кальция и, следовательно, в солнечной атмосфере должен присутствовать кальций. В 1862 г шведский астроном Андерс Йонас Ангстрем (1814—1874) установил, что на Солнце имеется водород. Утверждение Конта оказалось совершенно ошибочным. человек нашел способ определить химический состав Солнца, да и лю-

бого другого небесного тела, которое испускает свет, достаточно яркий для того, чтобы дать различимый спектр.

Вначале солнечный спектр изучали только для того, чтобы установить, какие элементы имеются на Солнце, а каких там нет. Но скоро возник вопрос: а в каких количествах они там имеются? С увеличением концентрации каждого данного элемента в светящихся или поглощающих парах его спектральные линии становятся более четкими и широкими. И можно было не только обнаружить наличие тех или иных элементов на Солнце, но и определить их возможное количество.

В 1929 г. американский астроном Гепри Норрис Рессел (1877—1957) тщательно изучил солнечные спектры, и ему удалось установить, что Солнце поразительно богато водородом. Он решил, что на водород приходится три пятых всего объема Солнца. Это было абсолютной неожиданностью, так как водород, хотя и не является редким элементом в точном смысле этого слова, составляет всего лишь 0,14% земной коры.

Однако последующие исследования показали, что Рессел был слишком осторожен в своей оценке. Недавние подсчеты американского астронома Дональда Говарда Мензела (род. в 1901 г.) показывают, что водород составляет 81,76% объема Солнца, а гелий 18,17%, так что на долю всех остальных элементов остается только 0,07%.

По-видимому, можно с уверенностью сказать, что Солнце практически представляет собой светящуюся смесь водорода и гелия в пропорции (по объему) 4:1. (Элемент гелий тоже был открыт с помощью спектрального анализа, причем сначала не на Земле, а на Солнце. Английский астроном Джозеф Норман Локьер (1836—1920) предположил, что некоторые неопознанные линии солнечного спектра принадлежат еще не открытому элементу, который он в честь греческого бога Солнца Гелиоса назвал гелием<sup>1)</sup>. На Земле же гелий был обнаружен шотландским химиком Уильямом Рамзеем (1852—1916) только в 1895 г.)

<sup>1)</sup> Одновременно и независимо от Локьера солнечные линии неизвестного на Земле элемента были открыты французским астрономом Жансеном — *Прим ред*

## Температура поверхности Солнца

Когда стал известен химический состав Солнца, число ядерных реакций, которые могли бы служить возможным источником огромного количества вырабатываемой Солнцем энергии, резко сократилось. Само собой разумеется, что говорить можно было только о реакциях, топливом в которых служит водород и, может быть, отчасти гелий. Никакие другие элементы не представлены на Солнце в достаточных количествах.

Итак, рассмотрим ядра атомов водорода и гелия. Ядро водорода наиболее распространенного типа состоит из единственной частицы — протона, и этот тип водородного атома называется поэтому водород-1. Ядро атома гелия наиболее обычного типа состоит из четырех частиц — двух протонов и двух нейтронов, и этот атом называют поэтому гелий-4.

Нет ничего невозможного в том, что четыре водородных ядра сольются (водородный синтез) и образуют одно ядро гелия — этот процесс мы можем обозначить так:  $4\text{H}^1 \rightarrow \text{He}^4$ . Не касаясь подробностей того, как это происходит — прямо или через длинную цепь реакций, в которых участвуют другие атомы, — зададим только один вопрос: достаточно ли будет слияния ядер водорода для того, чтобы обеспечить Солнце необходимой энергией?

Масса водородного ядра очень точно выражена в единицах атомной массы. В этих единицах масса водородного ядра составляет 1,00797; четыре таких ядра должны иметь общую массу 4,03188. Однако масса ядра гелия равна только 4,0026. Если 4,03188 единиц атомной массы водорода каким-то образом объединяются в 4,0026 единиц атомной массы гелия, это значит, что 0,0293 единицы атомной массы (0,73% всего количества) должны превратиться в энергию.

В таком случае ежесекундная потеря Солнцем 4 600 000 т массы (см стр. 134) — это потеря массы в результате превращения водорода в гелий. Водород является ядерным топливом Солнца, а гелий — его ядерным «пеплом». Поскольку потеря массы в ходе превращения водорода в гелий составляет 0,73% всей массы сливающегося водорода, ежесекундная потеря 4 600 000 т мас-

сы означает, что каждую секунду 630 000 000 т водорода превращаются в гелий

Этот факт позволяет предположительно оценить возраст Солнца. Общую массу Солнца можно вычислить, исходя из силы, с которой оно притягивает Землю на расстоянии в 150 000 000 км, она составляет 2 220 000 000 000 000 000 000 000 т. Каждую секунду потребляется 630 000 000 т водорода, и если мы примем, что первоначально Солнце состояло только из водорода, что атомы этого водорода все время сливались в гелий с одной и той же скоростью и что солнечное вещество всегда хорошо перемешивалось, то можно подсчитать, сколько требуется секунд, чтобы количество водорода уменьшилось со 100 до 81,76%. Оказывается, на это потребовалось бы 20 миллиардов лет. А для того, чтобы израсходовать все оставшееся водородное топливо, требуется еще 90 миллиардов лет.

Разумеется, было бы слишком смело полагать, что скорость синтеза гелия из водорода останется неизменной до полного истощения запаса топлива или что она всегда была такой же, как теперь. Несомненно, присутствие разных количеств гелиевого «пепла» может оказать влияние на скорость реакции или даже на ее характер. Тем не менее в начале 30-х годов XX в. представлялась по меньшей мере правдоподобной такая схема, согласно которой общий срок жизни Солнца равнялся бы минимум 100 миллиардам лет. История солнечной системы была, несомненно, очень долгой, а впереди ее ожидала еще более продолжительная жизнь

Но одного предположения, что солнечная энергия пополняется за счет слияния водорода в гелий, было еще недостаточно. Необходимо было еще доказать, что на Солнце существуют условия для такого слияния. У нас на Земле есть большие запасы водорода, хотя бы в мировом океане, и все же синтеза гелия из его атомов не происходит. Если бы они начали сливаться, Земля взорвалась бы и испарилась, превратившись в очень маленькую и очень недолговечную звезду. С другой стороны, если бы такую реакцию можно было проводить медленно и под контролем, человечество было бы обеспечено энергией на миллионы лет. Однако условия на Земле



таковы, что возможность самопроизвольного слияния атомов водорода исключена, а ученым (во всяком случае, до сих пор) не удалось создать условий для контролируемой реакции синтеза Единственное, что они сумели сделать, — это добиться неконтролируемого превращения в гелий небольших количеств водорода, создав водородную бомбу 50-х годов.

Ну а каковы условия на Солнце?

Мы видим только его поверхность, и эта поверхность, несомненно, горяча Но насколько она горяча? И вновь мы должны обратиться к излучению.

Даже если предмет довольно прохладен, как, например, человеческое тело, он непрерывно излучает энергию Теплоту человеческого тела можно ощутить на некотором расстоянии. Но это излучение очень длинноволновое, оно располагается далеко в инфракрасной части спектра и поэтому абсолютно невидимо для глаза

Если начать медленно нагревать какой либо предмет, например утюг, то его излучение усиливается и начинает переходить в область все более и более коротких волн. На фотографической пленке, чувствительной к инфракрасным лучам, можно получить изображение нагретого утюга, находящегося в темной комнате, хотя волны этого «света» еще слишком длинны и не воспринимаются человеческим глазом Если утюг нагреть еще больше, его основное излучение станет уже настолько коротковолновым, что мы сможем его увидеть. Вначале это будут самые длинные волны из доступных человеческому глазу и утюг станет темно-красным При дальнейшем нагревании тело будет излучать все больше и больше коротких волн и цвет утюга будет соответственно меняться.

В 1893 г немецкий физик Вильгельм Вин (1864—1928) подробно изучил это явление Каждой температуре соответствует свой максимум излучения — волна определенной длины, преобладающая в этом излучении Вин обнаружил, что по мере повышения температуры этот пик смещается в сторону коротких волн, причем его смещение может быть выражено простейшей математической формулой. Таким образом, если при изучении спектра какого либо предмета удастся установить пик излучения

этого спектра, можно узнать температуру самого предмета. Характер спектральных линий тоже меняется с изменением температуры, и они тоже помогают ее определить.

По солнечному спектру удалось установить, что температура поверхности Солнца составляет  $6000^{\circ}\text{C}$ . Таким же способом можно определить температуру поверхности других звезд, и некоторые из них оказались более горячими, чем Солнце. Температура поверхности Сириуса, например, равна  $11\,000^{\circ}\text{C}$ , а у Альфы Южного Креста (самой яркой звезды созвездия Южный Крест) она достигает  $21\,000^{\circ}\text{C}$ .

По земным представлениям поверхность Солнца очень горяча. Она достаточно горяча, чтобы расплавить и обратить в пар все известные нам вещества. Тем не менее она недостаточно горяча (далеко не достаточно!) для того, чтобы заставить атомы водорода сливаться в атомы гелия. Мы можем с полной уверенностью сказать, что нигде на поверхности Солнца эта реакция не протекает. Однако где-то она все-таки должна протекать, потому что иначе нельзя будет объяснить, откуда берется излучаемая Солнцем энергия. И так, перед нами встает вопрос о том, что может происходить внутри Солнца.

### ***Температура в недрах Солнца***

Определение свойств поверхности Солнца было огромным достижением — на первый взгляд оно вообще казалось невозможным. Так насколько же труднее, скажете вы, должно быть изучение недр Солнца!

Однако некоторые выводы о недрах Солнца сделать довольно легко. Например, мы знаем, что поверхность Солнца постоянно излучает в пространство огромное количество тепла, и тем не менее ее температура не меняется. Совершенно очевидно, что это тепло должно поступать изнутри с той же скоростью, с какой оно излучается в пространство, а отсюда следует, что недра Солнца должны быть более горячими, чем его поверхность.

Поскольку поверхность Солнца уже настолько горяча, что на ней превращаются в пар любые известные ве-

щества, и поскольку внутренние области Солнца еще горячее, напрашивается вывод, что все Солнце газообразно, что это просто шар сверхраскаленного газа. Если это так, то можно считать, что астрономам очень повезло, ибо свойства газа установить легче, чем свойства жидкостей и твердых тел.

В 20-х годах XX в. вопросом о внутреннем строении Солнца занялся английский астроном Артур Стенли Эддингтон (1882—1944), исходивший из предположения, что звезды представляют собой газовые шары.

Эддингтон рассуждал так: раз Солнце — всего лишь газовый шар, то, если бы на него воздействовала только сила его собственного тяготения, оно стремительно сжалось бы. А поскольку этого не происходит, значит, силу тяготения уравнивает какая-то другая сила, действие которой направлено изнутри наружу. Такая направленная наружу сила могла возникнуть благодаря стремлению газов расширяться под действием высокой температуры.

Исходя из значений массы Солнца и силы его тяготения, Эддингтон в 1926 г. рассчитал, какие температуры необходимы для того, чтобы уравнивать силу тяготения на различной глубине под поверхностью Солнца. Он получил потрясающие цифры. Температура в центре Солнца должна была достигать гигантской величины в 15 000 000 °C (Согласно современным расчетам она еще выше: 21 000 000 °C!)

Несмотря на всю поразительность этих результатов, большинство астрономов согласилось с ними. Во-первых, такие температуры были необходимы для того, чтобы могло происходить слияние атомов водорода. Хотя поверхность Солнца намного холоднее, чем требуется для этой реакции, внутренние области, согласно расчетам Эддингтона, оказались, безусловно, достаточно горячими для нее.

Во-вторых, рассуждения Эддингтона помогали объяснить и некоторые другие явления. Солнце находилось в состоянии чуткого равновесия между силой тяготения, обращенной внутрь, и действием температуры, направленным наружу. А что, если такое состояние равновесия свойственно не всем звездам?

Предположим, что какая-то звезда не настолько горяча, чтобы противостоять сжатию под действием силы тяготения. Подобная звезда сжалась бы, и при этом энергия тяготения (как указывал еще Гельмгольц) превратилась бы в тепловую энергию. Внутренняя температура повысилась бы, силы расширения возросли бы и в конце концов уравнили бы давление, создаваемое силой тяготения. Однако звезда по инерции продолжала бы сжиматься и дальше — но все медленнее и медленнее. К тому времени, когда сжатие, наконец, прекратилось бы, температура уже была бы намного выше той, которая требовалась для уравнивания силы тяготения, и звезда начала бы расширяться. По мере ее расширения температура понижалась бы и вскоре вновь достигла бы точки равновесия. Однако из-за инерции процесс расширения не остановился бы на этой точке — он постепенно замедлился бы, потом прекратился, и звезда вновь начала бы сжиматься. Этот цикл повторялся бы снова и снова — бесконечно.

Такая звезда пульсировала бы около какого-то положения равновесия подобно качающемуся маятнику или подпрыгивающей пружине. Блеск такой звезды, естественно, регулярно менялся бы, и характер его изменений (при ее размерах и температуре) точно совпал бы с поведением цефеид.

После того как все астрономы пришли к согласию относительно температуры и давления во внутренних областях Солнца, оставалось выяснить процессы, позволявшие водороду при этих условиях превращаться в гелий со скоростью, которая была бы достаточна для объяснения общего количества солнечного излучения. В 1939 г. американский физик, немец по происхождению, Ганс Альбрехт Бете (род. в 1906 г.) сумел разработать подходящий цикл ядерных реакций. Скорость их протекания в условиях, царящих внутри Солнца (согласно теоретическим расчетам и экспериментальным данным, полученным в земных лабораториях), вполне отвечала этим требованиям.

Таким образом, вопрос об источнике солнечной энергии, поставленный Гельмгольцем в 40-х годах XIX в., Бете окончательно разрешил почти 100 лет спустя.

А вместе с этим была также установлена возможная длительность жизни Солнца 100 миллиардов лет.

Однако поиски данных, подтверждавших наличие сверхвысокой температуры внутри Солнца, имели и неожиданное побочное следствие: была опровергнута планетезимальная гипотеза происхождения солнечной системы.

Полагать, что от Солнца отделилась какая-то часть его вещества, которое затем сгустилось в планеты, можно было до тех пор, пока температура солнечного вещества оценивалась в несколько тысяч градусов. Но температура в несколько миллионов градусов — это совсем иное дело!

В 1939 г. американский астроном Лаймен Спитцер младший (род. в 1914 г.)

убедительно доказал, что подобное сверхгорячее вещество не могло бы сгуститься в планеты, а, наоборот, быстро расширилось бы в газовую туманность, окружающую Солнце, и осталось бы туманностью.

Поэтому астрономам вновь пришлось вернуться к разрешению проблемы образования планет из относительно холодного вещества. Им снова пришлось думать о сжимающихся туманностях старого лапласовского типа. Однако в XX в. уже было известно очень многое о том, как должна была бы вести себя такая туманность, и об электрических и магнитных силах, воздействию которых она подвергалась бы наряду с воздействием сил тяготения.

В 1943 г. немецкий астроном Карл Фридрих Вайцзекер (род. в 1912 г.) высказал предположение, что туманность, из которой возникла солнечная система, не вращалась как единое целое. Наоборот, в ее наружных слоях, по его мнению, должны были образоваться вихре-

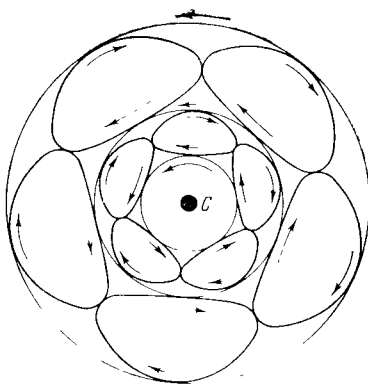


Рис. 22 Гипотеза Вайцзекера

вые движения с меньшими вихрями внутри больших. Там, где встречались бы соседние вихри, происходило бы столкновение частиц, слияние их во все более крупные частицы, и впоследствии там сформировались бы планеты. Таким способом Вайцзеккер пытался ответить на те вопросы, на которые пробовал ответить Лаплас, а сверх того, еще и объяснить закономерность в расположении планетных орбит, распределение момента количества движения и т. д.

Теория Вайцзеккера была встречена восторженно, но ее частности вызвали большие споры. Они еще продолжают, и многие астрономы выдвинули свои собственные версии, но ни одна из них еще не получила всеобщего признания. Впрочем, английский астроном Фред Хойл (род в 1915 г.) недавно предложил механизм образования планет, связанный с магнитным полем Солнца, и эта теория завоевала немалую популярность.

Как бы то ни было, астрономы единодушно сходятся на том, что вся солнечная система — и Солнце и планеты — образовалась в результате одного общего процесса. Другими словами, если Земля в ее нынешней форме существует 4,7 миллиарда лет, то мы можем считать, что и вся солнечная система (включая Солнце) в ее нынешней форме существует 4,7 миллиарда лет<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> В 1943—1944 гг. начал разрабатывать теорию о происхождении Земли и планет известный советский ученый и полярный исследователь О. Ю. Шмидт. Согласно гипотезе О. Ю. Шмидта, планеты возникли из гигантского газо-пылевого облака, некогда окружавшего Солнце. В ходе эволюции облака в нем возникли многочисленные сгущения, наиболее крупные из которых стали «зародышами» будущих планет. Двигаясь в облаке, зародыши постепенно «вычерпывали» его вещество и быстро росли до планетных размеров. Таким образом, Земля и другие планеты были первоначально холодными и лишь впоследствии разогрелись за счет выделявшегося в их недрах радиоактивного тепла — *Прим. ред.*

## Глава 9

# Типы звезд

### *Химический состав солнечной системы*

Хотя открытие процесса синтеза гелия из водорода в основном дало ответ на вопрос об источнике солнечной энергии, тем не менее оно не разрешило всех проблем. В частности, оказалось, что Солнце неожиданно бедно водородом и богато гелием. Если оно существует лишь около 5 миллиардов лет, оно должно было бы истратить меньше водорода и образовать меньше гелия.

Можно предположить, что в прошлом Солнце было горячее и расходовало свое топливо с большей щедростью. На первый взгляд представляется даже вполне правдоподобным, что Солнце вело себя подобно костру, пламя которого спадает по мере расходования топлива и «сгорание» протекает все медленнее. В этом случае прошлая история Солнца должна быть короче, чем мы предполагали, а будущая жизнь — соответственно длиннее. Но увы, насколько удалось установить геологам, в истории Земли нет никаких указаний на то, что за последние несколько миллиардов лет количество вырабатываемой Солнцем энергии заметно менялось.

Существует и вторая возможность — Солнце могло расходовать водород еще до образования солнечной системы, когда она была разреженной вращающейся туманностью.

Однако это тоже маловероятно. До образования солнечной системы в ее настоящем виде туманность, бесспорно, могла существовать бесчисленные миллиарды лет, но, оставаясь туманностью, она не тратила бы энергии за счет ядерных реакций. В разреженных туманностях тяготение настолько слабо, что оно вызывает лишь небольшое повышение температуры вблизи центра, дале-

ко не достаточное для того, чтобы дать первый толчок реакции слияния атомов водорода. Такая туманность медленно сжималась бы и производить энергию могла бы только за счет энергии тяготения, вызывающей падение частиц к центру — в соответствии с давним предположением Гельмгольца.

По мере сжатия туманности тяготение становилось бы более интенсивным: общее количество энергии оставалось бы прежним, но она концентрировалась бы во все меньшем и меньшем объеме. По мере увеличения давления в центре сжимающейся туманности повышалась бы температура, пока, наконец, она не достигла бы критической точки. Сжимающаяся туманность вспыхнула бы и превратилась бы в звезду. Лишь тогда начались бы ядерные реакции, причем только в центре Солнца, а не во внешних слоях туманности, где должны были формироваться планеты.

Проблема, кроме того, связана не только с излишками гелия, но и с присутствием на Солнце и на планетах ряда элементов, гораздо более сложных, чем гелий. Откуда взялись эти элементы?

Познакомимся кратко с некоторыми из них. Водород, атомное ядро которого состоит из единственной частицы, и гелий с атомным ядром, состоящим из четырех частиц, — это два простейших элемента. Остальные обладают более сложным строением. Наиболее распространенные из них (после водорода и гелия) — это углерод, азот, кислород и неон, их ядра состоят соответственно из 12, 14, 16 и 20 частиц.

Можно, конечно, предположить, что хотя водород превращается преимущественно в гелий, одновременно протекают и побочные реакции, в которых гелий в свою очередь превращается в углерод или кислород. Такое слияние ядер должно происходить чрезвычайно редко, поскольку за все 5 миллиардов лет жизни Солнца возникло лишь очень незначительное количество более сложных атомов. Кислород, например, составляет только 0,03% всего объема Солнца.

Кроме того, если элементы, более сложные, чем гелий, возникают в результате слияния ядер, то они должны были бы существовать только на Солнце. Каким же



образом такое количество более сложных атомов оказалось на планетах, которые образовались из вещества внешних слоев туманности?

Земля, например, состоит почти исключительно из элементов, более сложных, чем водород и гелий. Этот факт не столь удивителен, как могло бы показаться на первый взгляд: у него имеется объяснение, которое я сейчас изложу.

Твердые вещества связываются силами межатомного сцепления, и их целостность не зависит от силы всемирного тяготения. Однако у паров и газов межатомное сцепление очень слабо, и только сила тяготения удерживает их около планеты. Движение атомов или групп атомов (которые называются молекулами) в газах и парах имеет тенденцию преодолевать силу тяготения. Если атомы и молекулы движутся достаточно быстро, они уносятся прочь от планеты, несмотря на ее тяготение. Чем меньше планета, тем слабее ее тяготение и тем легче улетают от нее атомы и молекулы. А кроме того, чем легче атомы и молекулы, тем быстрее они в среднем движутся и тем чаще улетают от планеты.

Атомы водорода — самые легкие. Они проявляют склонность объединяться в пары и образовывать молекулы водорода. Хотя масса молекулы водорода вдвое больше массы отдельного атома водорода, она тем не менее легче любого другого атома.

Гелий существует в виде отдельных атомов. Масса атома гелия вдвое больше массы молекулы водорода (и вчетверо больше массы атома водорода), но он легче всех остальных атомов и молекул.

Тяготение Земли слишком слабо для того, чтобы удерживать водород или гелий. Правда, в отношении водорода действуют некоторые дополнительные факторы. Два атома водорода могут соединяться с одним атомом кислорода, образуя молекулу воды (масса которой в 18 раз больше массы отдельного атома водорода), или с атомами других элементов, образуя твердые вещества. Поэтому Земля в процессе своего образования удержала часть водорода в соединениях с другими элементами, но ее поле тяготения всегда было слишком слабым для того, чтобы удерживать водород в газообразной форме.

В результате большая часть водорода, окружавшего Землю в период ее образования, вообще не была захвачена ею — это, в частности, одна из причин, почему Земля так мала. Гелий же не вступает ни в какие соединения, а потому он вообще не был захвачен Землей в каких-либо заслуживающих внимания количествах. В настоящее время на Земле имеется лишь очень мало гелия.

Однако других элементов (в основном кислорода, кремния и железа) хватило на то, чтобы образовались такие планеты, как Земля, Марс, Венера, Меркурий и Луна.

Но планеты типа Юпитера, находившиеся гораздо дальше от Солнца, всегда имели значительно более низкую температуру. А чем ниже температура, тем медленнее движутся атомы и тем легче их удержать. Вещество, сгущавшееся в планету Юпитер, могло удерживать водород с большей легкостью, чем вещество, из которого образовывалась Земля. По мере накопления водорода масса Юпитера росла, а с ней и сила его тяготения. Это помогало накапливать все больше водорода, что в свою очередь еще более усиливало притяжение. Именно благодаря этому «эффекту снежного кома» Юпитер достиг своих нынешних размеров и, как показывают спектроскопические и другие данные, стал весьма богат водородом (так же как и все остальные внешние холодные планеты).

И все же Юпитер состоит не из одного водорода. В его атмосфере есть большая примесь гелия, а, кроме того, согласно некоторым данным, в ней присутствуют соединения, содержащие углерод и азот.

Следовательно, на всем протяжении туманности, из которой образовались планеты, были рассеяны неожиданно большие количества гелия и более сложных элементов. Чтобы объяснить этот факт, можно выдвинуть два предположения:

1. Тяжелые элементы имеются только во внутренних областях Солнца, а потому планеты должны были возникнуть из солнечного вещества. Это несовместимо с гипотезами их происхождения из туманности, и астрономам пришлось бы вернуться к какому-нибудь варианту планетезимальной теории.

2. Тяжелые элементы могут присутствовать в разреженной туманности, и возникли они не благодаря ядерным реакциям внутри Солнца, а каким-то иным путем.

Большинство астрономов предпочло бы не принимать первое предположение, если бы удалось удовлетворительно обосновать второе. Для того чтобы посмотреть, откуда, помимо Солнца, могли появиться тяжелые элементы, давайте вновь бросим взгляд за пределы солнечной системы, на звезды.

## *Спектральные классы*

Первым различием, которое было замечено у звезд, было различие в яркости. В отдельных случаях можно было заметить и различия в цвете. Антарес был красным, Капелла — желтой, Сириус — белым, а Вега — голубовато-белой. Невооруженным глазом эти цветовые оттенки удавалось различить лишь у нескольких самых ярких звезд.

В первой половине XIX в. появилось еще одно важное различие — различие расстояний. Некоторые звезды находились относительно близко к нам (в какой-нибудь сотне-другой триллионов километров<sup>1)</sup>), а расстояние до других было неимоверно велико. Это позволило вычислить истинную яркость, т. е. светимость тех звезд, расстояние до которых было известно, и мы получили еще одно важное различие — в светимости.

Во второй половине XIX в. появилась спектроскопия, и, естественно, сразу же возник вопрос, не обладают ли различные звезды и разными спектрами. Итальянский астроном Пьетро Анджело Секки (1818—1878) изучил доступные ему спектры и в 1867 г. предложил разделить их на четыре класса. Спектр Солнца он отнес ко второму классу, который характеризовался присутствием многочисленных линий поглощения металлов, в частности железа.

Позже другие астрономы подтвердили существование спектральных классов и уточнили эту классификацию, введя более тонкие градации. В 1900 г. американский астроном Эдвард Чарльз Пикеринг (1846—1919)

обозначил классы буквами латинского алфавита. Солнце, например, он отнес к спектральному классу G. Впоследствии каждый класс был разбит на группы, обозначенные цифрами от 0 до 9, и солнечный спектр стал классифицироваться как G2.

Спектральные классы не имели резких границ. Наоборот, один постепенно переходил в другой, создавая непрерывную последовательность. Это давало основания предполагать, что спектральные различия порождаются последовательным и непрерывным изменением какого-то одного свойства.

Немедленно возник вопрос: изменение какого свойства вызывает различия в спектрах?

Кирхгоф и Бунзен установили, что каждый элемент обладает собственным характерным спектром. Но раз так, то, если две звезды обладают различными спектрами, не значит ли это, что они состоят из разных элементов? Идея не очень приемлемая. Хотя одна звезда и могла содержать какие-то элементы, которых не было у другой, это не соответствовало все более утверждавшемуся представлению о том, что все тела во Вселенной состоят из одних и тех же (и довольно немногочисленных) элементов.

А не может ли быть так, что спектры претерпевают изменения и без существенных изменений химического состава изучаемого тела?

Добиться этого можно, в частности, путем изменения температуры. При изменении температуры электроны, окружающие атомное ядро, переходят из одного энергетического состояния в другое. По мере повышения температуры электрон переходит из низкого энергетического состояния в более высокое и при этом поглощает световые волны определенной длины. Позже он может перейти из высокого энергетического состояния в низкое, излучая при этом световую волну той же длины. Электроны способны переходить из одного состояния в другое различными путями, а потому данный тип атома может поглощать или испускать целый ряд волн различной длины, образуя спектральную серию из ярких или темных линий. Причем для каждого атома существует своя серия.

Атом каждого элемента обладает определенным количеством и своим особым расположением электронов. Поэтому электроны каждого вида атомов создают свою особую спектральную серию, не повторяющуюся ни у какого другого вида атомов с иным числом и расположением электронов. Именно поэтому спектральные линии, как светлые, так и темные, могут быть использованы для распознавания элементов.

Атом водорода содержит только один электрон, и его спектр относительно прост, так как возможности одного-единственного электрона очень ограничены. По мере усложнения атомов, с увеличением числа их электронов, спектральные серии также становятся все более и более сложными. Иногда спектр кажется менее сложным, чем можно было бы ожидать, так как большинство его линий оказывается вне видимой части спектра. Однако атом железа, например, имеющий 26 электронов, дает в видимой части спектра тысячи линий. Именно железу в значительной степени обязан своей сложностью видимый участок солнечного спектра.

Если продолжить нагревание вещества, вынуждая электроны атома переходить во все более и более высокие энергетические состояния, то в конце концов будет достигнута точка, при которой некоторые электроны получают достаточно энергии, чтобы преодолеть притяжение центрального ядра и покинуть атом. По мере повышения температуры атом будет терять свои электроны один за другим.

Атом, в котором число электронов меньше (или больше) нормального, называется ионом. Поэтому такая потеря электронов называется ионизацией.

Ионизованный атом дает иную последовательность линий, нежели нормальный. При отрыве одного или нескольких электронов оставшиеся электроны изменяют свои энергетические уровни немного по-иному. Кроме того, спектр атома, потерявшего один электрон, отличается от спектра атома, потерявшего два электрона, и т. д.

Атомы различных видов удерживают свои электроны с разной силой. Температура, достаточная, скажем, для ионизации атома натрия, окажется совершенно недостаточной для ионизации атома кислорода. Далее, чтобы

оторвать от атома второй электрон, всегда требуется более высокая температура, чем та, при которой был оторван первый, а чтобы оторвать третий электрон, понадобится еще более высокая температура и т. д.

Короче говоря, различие в спектрах может отражать различия в степени ионизации элементов, а не в самих элементах. А это в свою очередь свидетельствует о разнице температур.

До того как во всем этом разобрались, в спектрах иной раз обнаруживались непонятные линии и их относили за счет неизвестных элементов. Такая догадка оправдалась в случае с гелием (см. стр. 144), но и только. Во внешней атмосфере Солнца, видимой только во время полных затмений, — в так называемой короне — был якобы обнаружен элемент короний. Точно так же в некоторых туманностях был якобы найден элемент небулли.

Однако в 1927 г. американский астроном Айра Спрэг Боуэн (род. в 1898 г.) установил, что линии, приписываемые небулию, на самом деле создаются смесью давно известных элементов кислорода и азота, потерявших в условиях чрезвычайной разреженности по два электрона. Затем в 1941 г. шведский астроном Бенгт Эдлен установил, что короний — это на самом деле смесь атомов железа и никеля, потерявших по десятку электронов каждый.

Когда при истолковании спектров начали учитывать ионизацию, стало возможным только по спектральным сериям устанавливать температуру поверхности изучаемой звезды. Разница между спектральными классами объяснялась теперь разницей температур отдельных звезд и лишь в весьма незначительной степени разницей в их составе. Собственно говоря, химический состав подавляющей части звезд удивительно единообразен. Как и Солнце, большинство звезд состоит в основном из водорода и гелия.

Спектральные классы в порядке убывания температуры располагаются так: O, B, A, F, G, K и M. Имеются четыре дополнительных класса, довольно специфических, которые обозначаются R, N, S и W (первые три включают холодные звезды, а последний — горячие).

## ***Звезды-гиганты и звезды-карлики***

Когда для целого ряда звезд были получены сведения о их светимости и о температуре их поверхности, следующим логическим шагом было сопоставление этих данных. Эксперименты с раскаленными предметами на Земле давали основание предполагать, что чем холоднее звезда, тем слабее будет ее излучение и тем более красной она окажется. Но выяснилось, что это далеко не всегда так.

Например, если согласиться со значениями температуры, принятыми для спектральных классов, то наиболее холодными из обыкновенных звезд должны быть звезды класса М. По их спектральным линиям и положению максимума излучения типичная температура поверхности для звезд этого класса была оценена в  $2500^{\circ}\text{C}$  (напомним для сравнения, что температура поверхности нашего Солнца составляет  $6000^{\circ}\text{C}$ ). И действительно, все звезды класса М были красноватыми, но вопреки ожиданиям они не все были слабыми. Правда, многие из них были-таки слабыми, хотя некоторые (например, звезда Барнарда) и находились совсем близко. Однако другие, вроде Бетельгейзе в созвездии Ориона или Ангареса в Скорпионе, были красноватого цвета, но тем не менее казались очень яркими. И не потому, что находились так уж близко от нас. Они обладали не только большой видимой яркостью, но и большой светимостью. Излучение Антареса, например, почти в 10 000 раз превосходит излучение Солнца.

Еще в 1905 г. Э. Герцшпрунг, размышляя над этим вопросом, пришел к выводу, что такая большая светимость холодной звезды может объясняться только ее гигантскими размерами. Поверхность холодной звезды дает гораздо меньше света с квадратного километра, чем поверхность Солнца, но, с другой стороны, у такой звезды, как Бетельгейзе, квадратных километров поверхности могло быть несравненно больше, чем у Солнца. И это более чем возместило бы относительно малую яркость каждого квадратного километра в отдельности. Поэтому такие звезды, как Бетельгейзе и Антарес, стали называться красными гигантами, а такие, как звезда Барнар-

та, — красными карликами. Это было тем более любопытно, что промежуточных красных звезд, не гигантов и не карликов, как будто не существовало вовсе.

Это предположение Герцшпрунга, основанное на теоретических рассуждениях, было подтверждено результатами наблюдений. Американский физик немецкого происхождения Альберт Абрахам Майкельсон (1852—1931) изобрел в 1881 г. прибор, названный интерферометром. Этот прибор, отмечавший мельчайшие изменения в картине усиления и ослабления световых волн, позволял производить удивительно точные измерения. С его помощью удалось узнать о звездах то, что не показал бы ни один телескоп.

Даже ближайшие звезды так далеки от нас, что и в самые лучшие современные телескопы они видны только как светящиеся точки. Тем не менее попадающие в телескоп лучи данной звезды исходят не из одной точки ее поверхности. Один луч может приходить от ее западного края, а другой — от восточного. Эти лучи попадают в телескоп под некоторым углом друг к другу — углом, слишком малым для того, чтобы его можно было измерить обычными способами, но иногда достаточно большим, чтобы лучи, так сказать, сталкивались и складывались друг с другом. Прибор Майкельсона позволил измерять результат такого сложения и определять угол между лучами, если он только не был ничтожно малым. Зная этот угол и расстояние до звезды, можно легко вычислить ее действительный диаметр.

Результаты были поразительными. Диаметр Бетельгейзе был измерен таким способом в 1920 г., и оказалось, что он равен 500 000 000 км. Он почти в 350 раз больше диаметра Солнца (1 390 600 км). Следовательно, поверхность Бетельгейзе примерно в  $350 \times 350$ , т. е. в 120 000 раз больше поверхности Солнца. Не удивительно, что светимость этой звезды гораздо больше светимости Солнца, хотя светимость каждого квадратного километра ее поверхности гораздо меньше. Что касается объема Бетельгейзе, то он примерно в 40 000 000 раз больше объема Солнца. Если бы Бетельгейзе оказалась на месте Солнца, она заполнила бы все пространство далеко за пределы орбиты Марса. Да, это поистине красный гигант!



Антарес несколько меньше Бетельгейзе, но эта последняя — отнюдь не самая большая из подобных звезд. Например, Эпсилон Возничего — звезда настолько холодная, что, несмотря на ее чудовищные размеры, мы ее не видим. Ее излучение почти целиком лежит в инфракрасной области. Мы знаем о ее существовании только потому, что у нее есть яркий спутник, который она периодически затмевает. В 1937 г. на основании продолжительности затмения и расстояния до системы было высказано предположение, что эта темная звезда — инфракрасный гигант с диаметром 3 700 000 000 км. Если бы она оказалась на месте Солнца, то заполнила бы все пространство вплоть до орбиты Урана.

И инфракрасные гиганты вовсе не так редки, как казалось вначале. Но звезду, настолько холодную, что она излучает почти исключительно в инфракрасной части спектра, очень трудно обнаружить. Во-первых, земная атмосфера не очень прозрачна для инфракрасных лучей, а, во-вторых, все предметы на самой Земле достаточно теплы и обладают заметным собственным инфракрасным излучением; в результате инфракрасное излучение, приходящее к нам из космического пространства, теряется, так сказать, в общем зареве.

Однако в 1965 г. астрономы обсерватории Маунт-Вилсон разработали особую методику для поисков в небе областей, богатых инфракрасным излучением, которое указывает на присутствие инфракрасных гигантов. Они обнаружили сотни подобных объектов, сосредоточенных по большей части в плоскости Млечного Пути, но можно ожидать, что их будут найдены тысячи. И хотя бы некоторые из них, несомненно, окажутся больше, чем Эпсилон Возничего. В инфракрасной области они, собственно, очень яркие, но в видимой части спектра их излучение чрезвычайно слабо, так что даже в самые сильные телескопы видны лишь немногие из них. Две из обнаруженных звезд имеют, судя по их цвету, температуры 1200 и 800°K — вторая звезда нагрета только-только до температуры красного каления.

У звезд других цветов нет такого разрыва в размерах, как у холодных красных звезд. И все же существуют большие желтые гиганты (не такие огромные и холод-

**Размеры звезд**  
(в диаметрах Солнца)

Звезда	Спектральный класс	Измеренный диаметр	Вычисленный диаметр
<i>Сверхгиганты</i>			
Эпсилон Возничего В . . . . .	K5	2000	
VV Цефея А . . . . .	M2	1200	
Омикрон Кита . . . . .	M6e	400	
Альфа Ориона . . . . .	M2	300—400*	400
Дзета Возничего А . . . . .	K5	300	
Альфа Скорпиона . . . . .	M1	300	320
Эпсилон Возничего А . . . . .	F5	200	
<i>Гиганты</i>			
Бета Пегаса . . . . .	M5	110	130
Альфа Тельца . . . . .	K5	36	57
V 380 Лебедя А . . . . .	B2	29	
Альфа Волопаса . . . . .	K0	23	26
Альфа Возничего . . . . .	(G0)		16
<i>Карлики главной последовательности</i>			
Υ Лебедя А, В . . . . .	O9	5,9	
Бета Персея . . . . .	B8	3,1	
Бета Возничего А . . . . .	A0	2,8	
Процион А . . . . .	F5		1,7
Альфа Центавра А . . . . .	G4		1,2
Солнце . . . . .	G2	1,0	1,0
W Бол Медведицы А . . . . .	F8	0,9	
70 Змееносца А . . . . .	K1		0,9
70 Змееносца В . . . . .	K5		0,7
Крюгер 60 А . . . . .	M4		0,5
<i>Белые карлики</i>			
Сириус В . . . . .	A5		0,02
40 Эридада В . . . . .	A		0,02
ван Маанен 2 . . . . .	G		0,006
Вольф 457 . . . . .	(a)		0,003

Цифры, данные курсивом, взяты из интерферометрических измерений Пиза, модифицированных с учетом наиболее точных современных параллактических измерений. Остальные рассчитаны по кривым изменения блеска затменных двойных.

\* Переменный диаметр.

ные, как красные) и маленькие желтые карлики (не такие маленькие и холодные, как красные). В качестве примера желтого гиганта можно назвать Капеллу, а в качестве желтого карлика — наше Солнце.

## Диаграмма Герцшпрунга — Рессела

Одновременно с Герцшпрунгом поисками красных гигантов занимался Г. Н. Рессел. В 1913 г. он составил диаграмму (независимо от Герцшпрунга, который сделал это на несколько лет раньше), в которой по горизонтальной оси были отложены спектральные классы в порядке понижения температур, начиная со спектрального класса О слева и кончая спектральным классом М справа. По вертикальной оси были отложены светимости или абсолютные звездные величины (см. стр. 55). Каждая звезда имеет какую-то определенную абсолютную величину и относится к какому-го определенному спектральному классу, а потому может быть представлена точкой в определенном месте диаграммы. Такая диаграмма называется диаграммой Герцшпрунга — Рессела, или диаграммой спектр — светимость.

В среднем чем горячее звезда, тем она ярче. Поэтому чем левее находился на диаграмме спектральный класс исследуемой звезды (и значит, чем больше была ее температура), тем выше оказывалась она по шкале абсолютных величин. В результате большинство звезд, нанесенных Ресселом на диаграмму, расположилось по диагонали от верхнего левого угла к нижнему правому. Они образуют так называемую главную последовательность. По современной оценке более 99% всех доступных нашему наблюдению звезд попадают на эту главную последовательность.

Наиболее заметным исключением из этого правила являются, конечно, красные гиганты. Они принадлежат к спектральному классу М и поэтому находятся в правой части диаграммы. Однако, обладая огромной светимостью, они оказываются в верхнем правом углу диаграммы Герцшпрунга—Рессела, в стороне от главной последовательности.

Когда диаграмма Герцшпрунга — Рессела только составлялась, представления о ядерных реакциях в недрах звезд были еще весьма смутными, а взгляды большинства астрономов не так уж отличались от взглядов Лапласа и Гельмгольца. Среди них господствовало мнение,

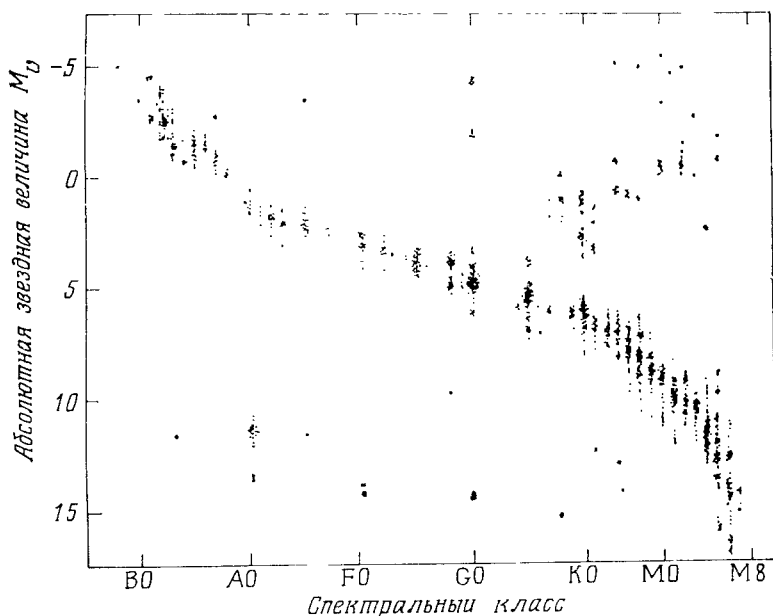


Рис 23 Диаграмма Герцшпрунга — Рессела

что звезды на протяжении всей своей жизни непрерывно сжимаются. С этой точки зрения диаграмма Герцшпрунга — Рессела, казалось, давала четкую и захватывающую картину звездной эволюции, показывая, как звезды возникают, проходят через различные стадии и в конце концов перестают излучать.

Выводы, сделанные Ресселом на основании этой диаграммы, можно коротко изложить следующим образом.

Сначала звезда представляет собой колоссальное скопление холодного газа, которое медленно сжимается. По мере сжатия звезда нагревается и на первых стадиях излучает почти исключительно в инфракрасной области спектра — это инфракрасный гигант вроде Эпсилона Возничего. Продолжая сжиматься, она раскаляется настолько, что излучает уже ярко-красный свет, как Бетельгейзе и Антарес. Она продолжает сжиматься и нагреваться, становясь желтым гигантом, меньшим по размерам, но более горячим, чем красный гигант, а потом голубовато-белой звездой — еще меньше и еще горячее.

Голубовато-белая звезда класса О не намного больше Солнца, но гораздо горячее его — температура ее поверхности достигает  $30\,000^{\circ}\text{C}$ , т. е. она в пять раз выше температуры поверхности Солнца. Максимум ее излучения находится в сине-фиолетовой области видимого спектра и даже в ультрафиолетовой, чем и объясняется ее цвет.

Переходя от стадии первоначальной холодной туманности в голубовато-белую стадию, звезда перемещается в верхней части диаграммы Герцшпрунга—Рессела справа налево, пока не достигает верхнего левого конца главной последовательности.

Теперь звезда продолжает сжиматься под влиянием тяготения, но по какой-то причине она более не нагревается. Одно из ранних объяснений этого факта заключалось в том, что на стадии голубовато-белой звезды вещество ее достигает такой плотности, что уже теряет свойства газа. При дальнейшем сжатии все большая часть ядра звезды перестает быть газом, а из-за этого по какой-то причине пропорционально сокращается выделение тепла.

Поэтому голубовато-белая звезда одновременно и сжимается, и остывает, быстро слабея под влиянием обоих этих факторов. Она становится желтым карликом, как наше Солнце, потом красным карликом, как звезда Барнарда, и, наконец, гаснет совсем и превращается в черный карлик — пепел догоревшей звезды.

Сжимаясь из голубовато-белой звезды до последней стадии — стадии черного карлика, звезда как бы скользит по главной последовательности из верхнего левого

угла к нижнему правому. Поэтому такую теорию можно назвать теорией скользящей эволюции звезд.

Такая схема выглядела очень заманчивой и казалась весьма правдоподобной. Во-первых, именно такого непрерывного сжатия, сопровождающегося сначала нагреванием, а потом остыванием, было естественно ожидать. Газ, сжимаемый в лабораторных экспериментах, становился горячее, раскаленные предметы, предоставленные сами себе, остывали.

Далее, если одна и та же звезда являлась красным гигантом где-то на раннем этапе своего существования и красным карликом в конце жизни, следовало ожидать, что средняя масса красных карликов не очень отличается от средней массы красных гигантов. Другими словами, красные гиганты колоссальны не потому, что содержат огромные количества звездного вещества, а только потому, что их вещество распределено в огромном объеме. Так и оказалось. Красные гиганты отнюдь не столь массивны, как можно было бы ожидать, судя по их размерам, а только очень разрежены. Вещество звезды вроде Эпсилона Возничего, если бы его удалось без изменений перенести в земную лабораторию, показалось бы (в большей части своего объема) просто пустотой.

Действительно, массы звезд в среднем удивительно сходны. Как ни разнятся звезды объемом, плотностью, температурой и другими свойствами, массы их различаются мало. Масса большинства звезд колеблется от 0,2 до 5 масс Солнца <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Массу отдельной звезды легче всего определить, если эта звезда входит в двойную систему. Зная расстояние до системы, астрономы могут вычислить истинное расстояние между ее компонентами и определить их орбитальную скорость. По этим данным можно, опираясь на ньютоновский закон всемирного тяготения, определить массу обеих звезд. К счастью, двойных звезд существует очень много и мы располагаем таким количеством данных о массах звезд, что можем выводить общие закономерности.

## Эволюция звезд

### *Соотношение масса — светимость*

Однако теория, по которой эволюция звезды представляет собой просто ее скольжение вниз по главной последовательности, просуществовала недолго. Она была опровергнута уже через десять лет.

Согласно «теории скольжения», Солнце должно было бы находиться на поздней стадии эволюции, давно пережив дни своего пылающего великолепия. Согласно этой теории, оно уже остыло и превратилось из голубоватой звезды в желтого карлика и приближалось (в космических масштабах времени) к стадии красного карлика, за которой следует полное угасание. Однако, когда было установлено, что наиболее вероятным звездным топливом является водород и что Солнце содержит его несравнимо больше, чем любых других элементов, стало ясно, что Солнцу предстоит еще долгая жизнь и что в этом смысле оно — относительно молодая звезда. Никакая теория эволюции, согласно которой Солнце оказывается старой звездой, не может быть верна.

Кроме того, все большую важность начал приобретать вопрос о массах звезд. Правда, гигантской разницы в массе между большими яркими и маленькими слабыми звездами не существует, но все же массы звезд с большой светимостью заметно превосходят массы слабых звезд. Это не очень значительное, но постоянное различие необходимо было как-то объяснить.

«Теория скольжения», казалось, объясняла и это. Можно было рассуждать следующим образом: у большей звезды запаса топлива больше, а потому она существует дольше. У маленькой звезды топливо кончается быстро, и она достигает стадии красного карлика, когда большая звезда находится еще в стадии голубоватой звезды.

Однако это объяснение оказалось несостоятельным в свете исследований Эддингтона, касавшихся строения внутренних областей звезд (см стр. 149).

Эддингтон исходил из того, что расширение газа под действием температуры должно уравниваться силой тяготения. Чем больше масса звезды, тем мощнее тяготение и тем выше должна быть уравнивающая его температура, а следовательно, и светимость звезды. Эта взаимосвязь, впервые сформулированная в 1924 г., называется соотношением масса — светимость <sup>1)</sup>.

Это значит, что нельзя считать, будто все звезды, начав свой путь в правом верхнем углу диаграммы Герцшпрунга — Рассела, сдвигаются влево (при этом сжимаясь и нагреваясь) в верхнюю часть главной последовательности. Такое предположение могло быть верным только для исключительно массивных звезд. Звездам же с меньшей массой для сопротивления сжатию под действием силы тяготения не требовались температуры звезд класса О. Они обошлись бы меньшими температурами и достигли бы главной последовательности ниже класса О. Звезда с такой же массой, как у нашего Солнца, достигла бы ее именно в том месте, где сейчас располагается Солнце.

Красные карлики с самого начала имели бы еще меньшую массу и выходили бы на главную последовательность еще ниже Солнца. Что же касается особенно маленьких тел, с массой в 100 раз меньшей, чем у Солнца, то, возможно, температура в их центре вообще не может подняться до точки, необходимой для начала процесса превращения водорода в гелий. Такие тела сгущались бы в холодные плотные объекты и становились бы черными карликами — не после того, как они отпылали го-

---

<sup>1)</sup> Соотношение масса — светимость объясняет зависимость между светимостью и периодом у переменных типа цефеид. Чем больше масса данной цефеиды, тем больше ее светимость и тем медленнее она пульсирует (Опыт говорит нам, что все периодические явления у большего предмета имеют более длинный период, чем у меньшего). Поэтому период цефеиды с большей светимостью длиннее периода цефеиды с меньшей светимостью. Оказалось, что новый метод измерения расстояний во Вселенной, созданный Шепли, опирается на логическое следствие из различий в свойствах звезд, а не просто на случайное совпадение.



рячей звездой, а так никогда звездой и не став. Если такой черный карлик случайно образовался бы вблизи светящейся звезды, он стал бы планетой. Сколько может быть во Вселенной черных карликов, находящихся так далеко от светящихся звезд, что их нельзя обнаружить, сказать невозможно. Шепли считал, что их должно быть очень много.

Вряд ли существует четкая граница между горячими звездами и холодными черными карликами. Возможно, в центре некоторых самых больших черных карликов превращение водорода в гелий происходит все же в достаточных масштабах для того, чтобы слегка нагревать их поверхность.

Даже в недрах Юпитера, чья масса составляет лишь одну тысячную массы Солнца, теплится жизнь. Измерения инфракрасного излучения Юпитера, произведенные в 1965 г. на станции Каталина близ Таксона (штат Аризона), показали, что он излучает примерно в 2,5 раза больше тепла, чем получает от Солнца. Если бы Солнце было единственным источником тепла для Юпитера, его поверхность, согласно сделанным в Каталине вычислениям, должна была бы иметь температуру  $-170^{\circ}\text{C}$ . Однако эта температура на  $25^{\circ}$  выше и составляет  $-145^{\circ}\text{C}$ . Источником дополнительной теплоты могут быть нагревающиеся от сжатия недра Юпитера, а в этом случае Юпитер можно считать в некотором роде очень маленькой и очень холодной звездой.

Однако давайте вернемся к обычным звездам, которые настолько горячи, что ярко светятся.

В начальной стадии эволюции звезды, когда рассеянное скопление газа и пыли сжимается и движется по направлению к какой-либо точке главной последовательности, энергия производится в основном за счет тяготения — процесса, который, по мнению Гельмгольца, продолжался на протяжении всей жизни звезды. Однако для каждой отдельной звезды тяготение — не слишком богатый источник энергии и эта стадия завершается относительно быстро. Почти мгновенно (в космических масштабах времени) звезда достигает главной последовательности, и температура ее центра повышается настолько, что начинается реакция превращения водорода

в гелий, которая и служит затем главным источником энергии.

Этот источник энергии неисчерпаем и надежен. У большинства звезд реакции превращения водорода в гелий хватает для выработки практически постоянного

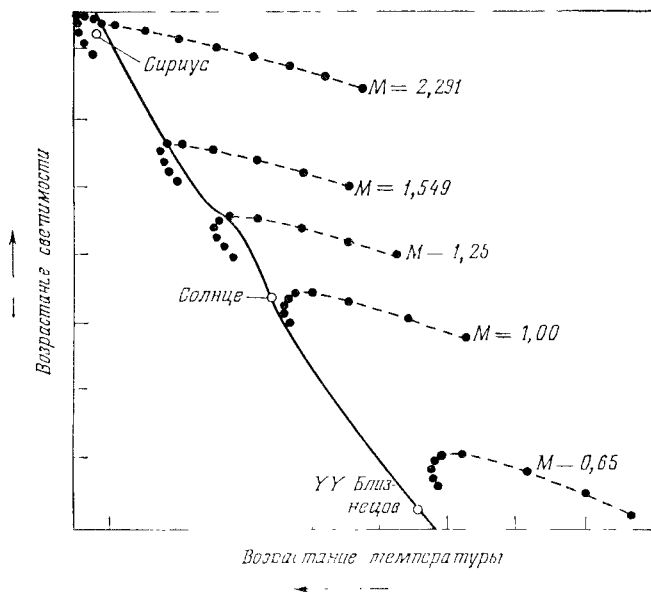


Рис 24 Приближение к главной последовательности  
 $M$  — масса звезды, выраженная через массу Солнца, принятую за единицу

количества энергии на протяжении очень долгого времени. И пока она продолжается, звезда почти не смещается по главной последовательности. Любое значительное перемещение вверх или вниз привело бы к нарушению неустойчивого равновесия между тяготением и температурой.

Если бы, например, наше Солнце по какой-то причине вдруг разогрелось настолько, что температура его поверхности достигла  $30\,000^\circ\text{C}$ , и внезапно переместилось

бы в верхний левый конец главной последовательности, то направленное наружу давление настолько превысило бы направленную внутрь силу тяготения, что Солнце взорвалось бы. Только у звезд с очень большой массой сила тяготения достаточно велика для того, чтобы противостоять стремящейся взорвать звезду силе направленного наружу давления, порождаемого высокой температурой. Солнце не обладает для этого достаточной массой и, по всей вероятности, никогда ею не обладало и не будет обладать. Поэтому предположение, что оно было некогда звездой класса О и соскользнуло по главной последовательности через классы В, А и F к своему нынешнему месту в класс G, не выдерживает критики. Его нынешнее место на главной последовательности — единственное, которое оно может занимать в соответствии со своей массой.

Звезды остаются на главной последовательности (практически не сдвигаясь с того места, которое определяется их массой) столь значительную часть своей жизни, что на ней находится более 99% всех видимых звезд. Другими словами, у нас меньше одного шанса из ста наблюдать какую-либо звезду в то относительно короткое время, когда она еще не достигла главной последовательности или уже покинула ее.

Однако некоторые звезды остаются на главной последовательности дольше, чем другие. Бóльшая звезда обладает бóльшим запасом топлива, чем маленькая, но ей приходится поддерживать более высокую температуру, а потому потреблять свое топливо быстрее.

Из соотношения масса — светимость следует, что с увеличением массы скорость потребления топлива растет гораздо быстрее, чем запас топлива. Таким образом, чем больше и горячее звезда, тем быстрее кончится ее топливо, а значит, тем короче срок ее пребывания на главной последовательности.

Например, наше Солнце, принадлежащее к спектральному классу G, останется на главной последовательности в общей сложности около 13 миллиардов лет. Из них миновало пока 5 миллиардов лет и остается около 8 миллиардов, из чего следует, что Солнце еще не достигло даже среднего возраста. Звезда класса F, которая

немного больше и горячее Солнца, может вначале располагать более значительным запасом водорода, но поглощает она его гораздо быстрее и поэтому пробудет на главной последовательности заметно меньше 8 миллиардов лет. В общем, чем больше и горячее звезда, тем короче ее пребывание на главной последовательности. Если бы Солнце принадлежало к классу А и пробыло на главной последовательности те же 5 миллиардов лет, оно было бы уже накануне следующего передвижения.

Самые горячие звезды сжигают свой относительно очень большой запас топлива с такой невообразимой скоростью, что их пребывание на главной последовательности измеряется не миллиардами, а всего лишь сотнями и десятками миллионов лет. Звезда с наибольшей известной светимостью, S Золотой Рыбы (см. стр. 100), сможет пробыть на главной последовательности еще только два-три миллиона лет.

Если считать промежуток времени до выхода звезды на главную последовательность таким коротким, что его не стоит принимать во внимание, то мнение Эддингтона можно выразить следующим образом: чем ярче звезда, тем короче должен быть срок ее жизни (вывод, противоположный тому, к которому приводит «теория скольжения»). Красные карлики отнюдь не близки к угасанию и, возможно, будут все так же светить, скупно расходуя свой скудный запас водорода, через много миллиардов лет после того, как Солнце погаснет. С другой стороны, огромные яркие звезды вовсе не находятся в начале своей жизни и тратят свое топливо так щедро, что погаснут раньше, чем наше Солнце успеет хоть немного измениться.

Эддингтоновское соотношение масса — светимость позволило сделать и довольно неожиданный побочный вывод, который также оказал влияние на представления об эволюции звезд. Эддингтон разработал свою теорию, исходя из предположения, что все вещество звезды обладает свойствами газа (см. стр. 147). Сперва он принял господствовавшее в начале 20-х годов мнение, что целиком газообразны только красные гиганты, а ядра звезд главной последовательности и особенно красных карликов состоят не из газа. Поэтому он полагал, что его вы-

воды окажутся неприменимыми к звездам главной последовательности.

Однако, к удивлению Эддингтона, во всех случаях, когда его расчеты удавалось проверить наблюдениями, они оказывались верными для всех звезд — не только для гигантов, но и для карликов. Он не мог не прийти к заключению, что все звезды, включая и карлики, целиком газообразны — это положение в наши дни стало общепринятым.

Это открытие нанесло смертельный удар «теории скольжения», ибо теперь невозможно было объяснить, каким образом может звезда скользить по главной последовательности вниз, сжимаясь и одновременно остывая. Согласно законам поведения газа, сжатие может сопровождаться только нагреванием, а отнюдь не охлаждением.

Таким образом, к середине 20-х годов «теория скольжения» окончательно испустила дух и была разработана та теория звездной эволюции, которую можно назвать современной.

## **Межзвездный газ**

Жизнь наиболее ярких звезд настолько коротка, что во времена, когда по Земле разгуливали динозавры, их в нынешней форме еще не существовало. В космических масштабах времени они эфемерны.

Но если звезды могли формироваться всего несколько десятков миллионов лет назад, это практически означает, что какие-то звезды возникают и сейчас. Возможно, звезды образуются непрерывно, если не в таких количествах, как в далеком прошлом, когда, вероятно, возникала вся Галактика, то все же достаточно часто. Однако в таком случае не наблюдаем ли мы и теперь звезды в процессе образования?

Дать на это окончательный ответ трудно, так как процесс этот в сравнении с человеческой жизнью настолько длителен (каким бы стремительным ни был он в космических масштабах), что самые подробные наблюдения, проводимые столь недолго, не могут дать ясных результатов. Кроме того, звезду в стадии образования

не так го просто увидеть. В некоторых туманностях есть объекты, которые, возможно, являются звездами в процессе образования. В туманности Розетка находится много темных шарообразных объектов, которые могут быть звездным веществом, сущающимся перед переходом на главную последовательность. Другие возможные области нынешнего формирования звезд расположены в туманности Ориона и в туманности NGC 6611 в созвездии Змеи.

Но из чего могут образовываться новые звезды?

Большинство астрономов считает, что вначале звезды представляли собой огромные облака газа и пыли. Много миллиардов лет назад, в эпоху возникновения Галактики, это звездное сырье, вероятно, имелось в изобилии. Сама Галактика, скорее всего, представляла собой колоссальное вращающееся скопление вещества, от которого отрывались отдельные вихри, сущавшиеся затем в звезды. Ну а теперь, когда из первоначального смерча уже сгустилось более сотни миллиардов звезд, много ли теперь осталось сырья?

Я уже упоминал о существовании межзвездной пыли, которая в некоторых местах скапливается в таких количествах, что заслоняет свет звезд (темная туманность) или же отражает этот свет (светлая туманность). Кроме того, по всему межзвездному пространству также рассеяна пыль, которая повсюду преломляет и ослабляет свет звезд (см стр. 96). Этот эффект имеет важное значение, однако он вызывается уже очень небольшим количеством пыли, совершенно недостаточным для образования звезд.

Гораздо важнее существование межзвездного газа. Отдельные атомы и молекулы газа поглощают и рассеивают свет довольно слабо, а потому присутствие газа обнаружить намного труднее, чем присутствие пыли, хотя его может быть гораздо больше.

Отдельные атомы газа поглощают световые волны только определенной длины, так же как и атомы в солнечной атмосфере. Концентрация газа в межзвездном пространстве, несомненно, очень низка, поглощение им света на обычных расстояниях, несомненно, ничтожно мало и не поддается измерению. Но на расстоянии в сот-

ни тысяч световых лет накапливающееся поглощение достигает измеримого уровня. Поэтому не исключена возможность, что некоторые линии в звездных спектрах порождаются не газами, непосредственно окружающими звезду, а чрезвычайно разреженным газом, распределенным на всем пути света от звезд к Земле.

Первые сведения об этом были получены при спектроскопическом изучении двойных звезд. Некоторые двойные звезды обращаются вокруг центра тяжести системы в той же или почти в той же плоскости, в которой лежит Земля. Если обе звезды светящиеся, то, поочередно заставляя друг друга, они почти не влияют на количество достигающего нас света, и в тех случаях, когда такие двойные звезды расположены очень тесно и не различаются в телескоп, обнаружить их бывает трудно.

При таком положении орбит получается, что когда одна звезда удаляется от нас, другая приближается. Затем одна звезда заходит за другую и обе движутся поперек луча нашего зрения — одна направо, а другая налево. Затем та, которая прежде удалялась, начнет к нам приближаться, а та, которая приближалась, будет удаляться. Потом они снова пройдут поперек луча нашего зрения и все начнется сначала.

Когда компоненты двойной звезды движутся так, что одна звезда приближается, а другая удаляется, спектральные линии первой смещаются в сторону фиолетового конца спектра, а линии второй — в сторону красного конца. Когда оба компонента движутся поперек нашего луча зрения, никакого смещения наблюдаться не будет ни у той, ни у другой звезды. Если обе звезды принадлежат к одному и тому же классу, то, пока они движутся поперек луча нашего зрения, их спектральные линии будут совпадать. Но когда одна из них приближается, а другая удаляется, линии будут раздвигаться, потому что одна серия сместится в одном направлении, а другая — в другом. За время одного оборота спектральные линии раздвоятся дважды.

Такое изменение спектральных линий позволяет распознать двойную звезду даже тогда, когда визуально ее компоненты совершенно неразличимы. В 1889 г. американский астроном Антония Мори (1866—1952) заметила

такое периодическое раздвоение линий в спектре Мицара, одной из звезд в ручке ковша Большой Медведицы. Это была первая спектрально-двойная звезда. Потом их было открыто еще очень много.

В 1904 г. немецкий астроном Иоганн Франц Гартман (1865—1936) изучал спектрально-двойную звезду Дельту

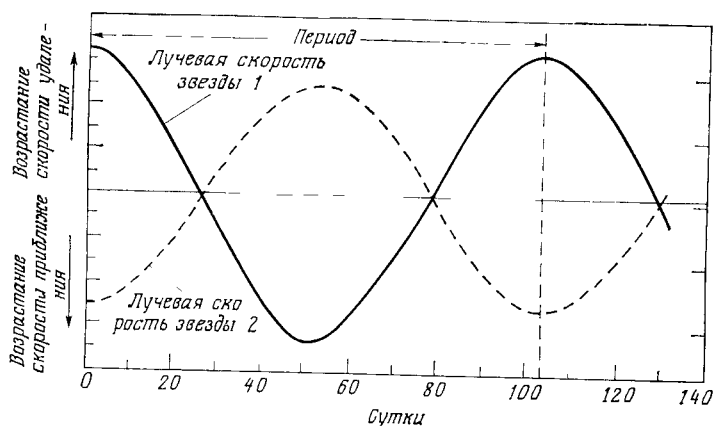


Рис. 25. Спектрально-двойные звезды.

Ориона. Он заметил, что во время периодического раздвоения линий одна из них не раздваивалась! Эта световая волна поглощалась чем-то, что не участвовало в движении ни того, ни другого компонента двойной системы. Это мог быть третий компонент с очень большой массой — настолько большой, что центр тяжести всей системы почти совпадал с его собственным центром, и поэтому он был почти неподвижен. Однако если бы этот третий компонент был светящимся, он был бы видим, а если бы он был темным, то его выдали бы периодические затмения, как у Альголя

Гартман считал гораздо более вероятным, что эта неподвижная линия поглощения вызвана чрезвычайно разреженным газом, присутствующим в пространстве, отделяющем нас от Дельты Ориона. С мнением Гартмана согласились не сразу, но затем стали появляться сооб-



щения других астрономов, подтверждающие его выводы — в частности, следует упомянуть работы американского астронома русского происхождения Отто Струве (1897—1964). В настоящее время межзвездный газ признан одной из составных частей Галактики и считается, что его общая масса превышает общую массу пыли в Галактике примерно в 50—100 раз.

Неподвижная спектральная линия, впервые замеченная Гартманом, совпадала с линией кальция, а потому представлялось очевидным, что межзвездный газ содержит кальций. Были обнаружены и другие атомы, однако точно определить состав газа с помощью одного только спектрального анализа было невозможно. Наличие газа, который активно поглощает световые волны определенной длины в видимой части спектра (как, например, кальций), может отразиться в спектре, даже если этот газ присутствует в очень малых количествах. Но к 50-м годам стало совершенно ясно, что преобладающей составной частью межзвездного газа является гораздо менее заметный (с точки зрения спектроскопии) водород.

По современной оценке 90% всех атомов Вселенной — это атомы водорода, наиболее простые из всех атомов, и 9% — атомы гелия, самые простые после водородных. На долю всех остальных атомов остается 1%. Коротко говоря, соотношение элементов в химическом составе Солнца представляется довольно типичным для всего состава Вселенной.

Если межзвездный газ — это в основном водород и гелий, то из чего состоит пыль? Атомы гелия не показывают никакой тенденции соединяться в более крупные частицы, а водород образует двухатомные молекулы, которые также не показывают практически никакой тенденции к дальнейшему объединению. Следовательно, пыль должна образовываться с помощью какого-то более редкого компонента, но не слишком редкого, так как Галактика содержит значительное количество пыли.

Согласно одному из предположений, это должен быть кислород, наиболее распространенный из второстепенных элементов. Атом кислорода легко вступает в соединение с атомом водорода, образуя так называемую гидроксильную группу, и в 1963 г. в межзвездном веществе

действительно были обнаружены такие соединения. Атом кислорода, кроме того, может соединяться с двумя атомами водорода, образуя молекулу воды, а молекулы воды легко слипаются между собой. Поэтому межзвездная пыль, возможно, в значительной мере состоит из кристаллов льда.

Хотя межзвездный газ и пыль очень разрежены, они заполняют колоссальные пространства, и потому общая их масса весьма велика. По некоторым оценкам масса межзвездного вещества Галактики равна массе всех ее звезд, но такая оценка почти наверное завышена. Согласно новейшим определениям, масса межзвездного газа составляет только 2% от массы звезд, но спиральные ветви должны быть гораздо богаче газом, чем ядро Галактики. В спиральных ветвях масса межзвездного вещества может составлять даже 10—15% от массы звезд.

Если бы газ, содержащийся в такой галактике, как наша, весь сгустился, то его даже по самой низкой оценке хватило бы для создания двух миллиардов звезд, а потому нечего невозможного в том, что звезды возникают из разреженного межзвездного водорода и сейчас или что некоторые из них возникли от одного до десяти миллионов лет назад и теперь сияют сверхъестественно ярко.

Некоторые другие галактики, возможно, еще богаче сырьем для новых звезд. Концентрация межзвездного газа в Большом Магеллановом Облаке, например, может быть втрое выше, чем в нашей Галактике.

Теперь мы можем объяснить неожиданно малое количество водорода и кажущийся избыток гелия на Солнце, а также и тот факт, что Земля состоит почти исключительно из элементов более сложных, чем гелий. По-видимому, газовое вещество, из которого образовалась солнечная система, уже с самого начала содержало значительные запасы гелия и некоторое количество более сложных атомов.

Итак, возникает вопрос: откуда взялись в межзвездном газе гелий и более сложные элементы?

Можно просто предположить, что в том газе, из которого образовалась наша Галактика, уже с самого начала

имелось определенное количество гелия и более сложных атомов. Однако куда соблазнительнее предположение, что вначале он содержал только самые простые атомы — атомы водорода, а все остальные атомы образовались из них. Но, насколько нам известно, условия, при которых становятся возможными те процессы, когда атомы водорода сливаются в другие атомы, существуют только в недрах звезд. Если это так, то каким образом гелий и другие атомы снова попадают в межзвездный газ?

Запомним этот вопрос, а пока рассмотрим дальше возможный путь эволюции звезд.

### *За главной последовательностью*

Что происходит со звездой, когда топлива израсходовано слишком много, равновесие между тяготением и температурой поддерживать уже не может и звезда не может поэтому дольше оставаться на главной последовательности?

Ответ опирается частично на теоретические рассуждения, а частично на наблюдения. Физики-ядерщики могут разработать подробные теоретические механизмы процессов, которые, возможно, происходят во внутренних областях звезд при определенной температуре, давлении и химическом составе, а затем их выводы можно проверить прямыми наблюдениями над небесными светилами.

Астрономы, например, могут вести наблюдения над звездными скоплениями вроде Плеяд, которые находятся так близко к нам, что можно отдельно изучать спектр каждой из составляющих их звезд. Расстояние до всех звезд такого скопления примерно одинаково, так что соотношение их видимых яркостей совпадает с соотношением их светимостей. Поэтому мы можем отложить их по вертикальной оси диаграммы Герцшпрунга — Рассела. Изучив спектры звезд, мы можем отложить их по горизонтальной оси. Короче говоря, мы можем построить небольшую диаграмму Герцшпрунга — Рассела только для звезд данного скопления.

Далее мы можем принять, что все звезды такого скопления имеют один и тот же хронологический возраст. Ведь вполне логично предположить, что большое коли-

чество газа, рассеянного по всему пространству, занимаемому скоплением, в далеком прошлом сгустилось в отдельные звезды этого скопления за очень короткий (в космических масштабах) срок и что все звезды скопления возникли более или менее одновременно. Если это не так, если звезды скопления возникали независимо одна от другой, трудно объяснить, почему они сейчас составляют такую тесную группу.

Если бы эволюция звезды определялась только ее хронологическим возрастом, все звезды данного скопления, будучи ровесницами, должны были бы находиться на одной стадии эволюции. Все они занимали бы одну какую-то точку на главной последовательности, или одну какую-то точку до выхода на нее, или одну какую-то точку после ухода с нее.

Однако хронологический возраст звезды — не единственный фактор, определяющий ее эволюцию. Вторым фактором является ее масса. Звезды в скоплении обладают различными массами, а чем больше масса звезды, тем быстрее эта звезда развивается. Более массивная звезда, возникшая одновременно с менее массивной, должна была бы достичь более поздней стадии эволюции, чем менее массивная. Следовательно, в звездном скоплении звезды с наименьшей массой будут находиться на самой ранней стадии эволюционного цикла, а звезды с большей массой окажутся на более поздних стадиях. Если каждую звезду поместить в соответствующую точку диаграммы Герцшпрунга — Рассела, мы получим схему всего пути эволюции вплоть до наиболее поздней стадии, достигнутой членами данного скопления.

Трюмплер (ученый, доказавший существование межзвездной пыли) провел такое систематическое изучение звездных скоплений в 1925 г., и с тех пор непрерывно ведутся еще более подробные наблюдения. Сопоставляя их результаты с теорией, астрономы в настоящее время уверенно описывают весь ход эволюции отдельных звезд.

1. Облако пыли и газа сжимается и нагревается до тех пор, пока не достигает главной последовательности. Для значительного скопления газа, которое в конце концов окажется на верхнем, горячем конце главной последовательности, этот этап занимает примерно 100 000 лет,

так как большое облако обладает мощным полем тяготения и потому сжимается быстрее, чем малое. Звезда, близкая по массе к нашему Солнцу, достигнет главной последовательности примерно за 2 миллиона лет.

2. Затем звезды остаются на главной последовательности в течение срока, составляющего для разных звезд от миллионов до десятков миллиардов лет в зависимости от их массы. Пока звезда находится на главной последовательности, в ее чрезвычайно раскаленных центральных областях протекают ядерные реакции, в результате которых там постепенно исчезает водород и накапливается гелий. Согласно расчетам, опубликованным в 1966 г., ядро Солнца содержит шесть атомов гелия на каждый атом водорода, в то время как на его поверхности картина почти прямо противоположна — семь атомов водорода на каждый атом гелия.

3. Когда в ядре достигается критически низкое содержание водорода и высокое содержание гелия, звезда начинает расширяться и, следовательно, охлаждаться. Тогда она покидает главную последовательность и смещается на диаграмме Герцшпрунга — Рассела вверх и вправо. Полагают, что в некоторых случаях такая звезда достигает стадии цефеиды и пульсирует с правильной периодичностью в течение нескольких миллионов лет. В других случаях расширение протекает более или менее непрерывно, пока звезда не достигнет гигантских размеров и ее вещество — во всяком случае, во внешних слоях — не окажется чрезвычайно разреженным. Она становится красным гигантом, который, таким образом, представляет одну из поздних стадий эволюции звезды (а не раннюю, как предполагалось в «теории скопления»).

Наше Солнце когда-нибудь — через миллиарды лет — тоже начнет расширяться, чтобы затем достичь стадии красного гиганта, и если только к тому времени человечество не покинет Землю (или не уничтожит себя задолго до этого), на этом все для нас и кончится.

Естественно, чем больше и массивнее звезда, тем колоссальнее будет красный гигант, в которого она раздуется. Красный гигант, которым когда-нибудь станет Солнце, будет не слишком внушительным представите-

лем своего класса. Красные гиганты вроде Бетельгейзе и Антареса развились из тех звезд главной последовательности, которые были значительно массивнее Солнца. Самые массивные звезды, возможно, расширяются и

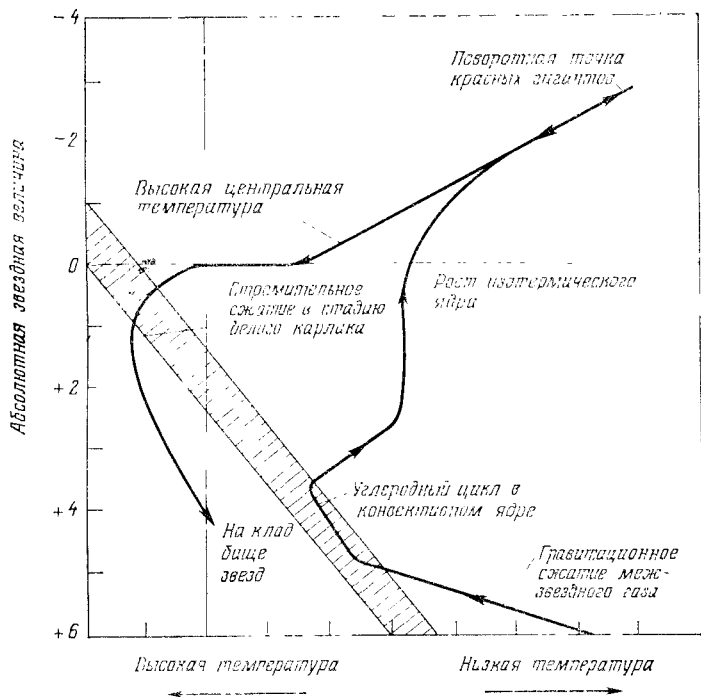


Рис 26 Эволюция звезд

охлаждаются еще больше, становясь инфракрасными гигантами.

4. К тому времени, когда звезда окончательно достигает стадии красного гиганта, водород ее ядра уже полностью израсходован. Масса ядра непрерывно растет по мере того, как в нем накапливается все больше и больше гелия. Пока внешние слои звезды расширяются, само ядро сжимается и делается все горячее. В конце концов

оно достигает температуры примерно  $140\,000\,000^{\circ}\text{C}$  (почти в десять раз выше, чем нынешняя температура внутренних областей Солнца), при которой начинается новая ядерная реакция — три атомных ядра гелия, соединяясь, образуют атомное ядро углерода. Такие «сжигающие гелий» звезды начинают вновь сжиматься и нагреваться.

Но развитие процесса соединения ядер гелия не означает, что звезда вступила в новый этап жизни, сопоставимый по длительности с ранней стадией — стадией водородного синтеза. Соединение ядер гелия дает гораздо меньше энергии, чем соединение ядер водорода.

Предположим, что 12 ядер водорода-1 соединятся в три ядра гелия-4, а затем эти три ядра гелия-4 — в одно ядро углерода-12. Двенадцать ядер водорода-1 обладают общей массой 12,0956; три ядра гелия-4 — общей массой 12,0078, а ядро углерода-12 имеет массу 12,0000. Потеря массы (при которой высвобождается энергия) на стадии соединения ядер водорода составляет 0,0878, а на стадии соединения ядер гелия — всего лишь 0,0078. Таким образом, соединение ядер гелия даст при той же массе только 9% того количества энергии, которое дает соединение ядер водорода.

Звезда способна еще продлить свое существование, синтезируя из ядер углерода более сложные ядра, но вечно это длиться не может. Конец наступает после синтеза железа. Ядра железа — самые устойчивые из всех. Как только возникает атом железа, дальнейшие ядерные реакции, в которых он участвует, уже больше не дают энергии. Когда ядро атома железа превращается в более сложные или расщепляется на менее сложные ядра, происходит не выделение, а поглощение энергии.

Впрочем, даже если ядра проходят весь этот путь до тупика, энергии после прекращения водородного синтеза все равно выделяется очень мало. Представьте себе, что 56 ядер водорода-1 превратятся в 14 ядер гелия-4, а затем эти 14 ядер гелия-4 — в один атом железа 56. Их массы соответственно составят 56,4463; 56,0264 и 55,9349. Потеря массы при переходе водорода в гелий равна 0,4199, а гелия в железо — 0,0915. Энергия, полученная в течение всего процесса превращения гелия в железо,

составит при той же массе лишь 22% энергии, получаемой при соединении ядер водорода в ядра гелия. Таким образом, мы можем сказать, что звезда, израсходовавшая весь свой водород, истощила четыре пятых того срока, который она живет как атомный реактор.

После стадии красного гиганта, по мере того как звезда сжимается и нагревается, внутри ее ядра начинает возникать новое ядро, а в нем — еще одно и т. д. Каждое новое ядро содержит более сложные атомы, чем предыдущее, пока, наконец, процесс этот не завершается возникновением самого внутреннего ядра, богатого железом.

Этот процесс сжатия и нагревания можно изобразить на диаграмме Герцшпрунга — Рассела как быстрый переход налево и вниз. Звезда пересекает главную последовательность, направляясь к левому нижнему углу диаграммы, к области, где находятся горячие звезды с низкой светимостью.

Нижний левый угол, естественно, лежит напротив верхнего правого угла, где находятся холодные звезды с большой светимостью (красные гиганты). Как холодные звезды могут обладать большой светимостью, если они очень велики, так и горячие звезды могут быть необычайно слабыми, если они очень малы.

Для того чтобы понять, что происходит со звездами, когда их ядерные реакции подходят к концу, мы должны рассмотреть природу очень горячих и очень маленьких звезд, о которых я пока еще ничего не говорил.



## Взрывы звезд

### *Белые карлики*

Сведения о горячих, но слабых звездах начали накапливаться с 1844 г., когда Бессель открыл спутник Сириуса (см. стр. 52). Сириус и его спутник обращаются по эллиптическим орбитам вокруг общего центра тяжести с периодом в 50 лет. Сириус поэтому иногда называют «Сириус А», подчеркивая этим, что он входит в состав двойной системы, а его маленький спутник называют «Сириус В».

Любой объект, способный заставить такую звезду, как Сириус, двигаться по видимой с Земли орбите, должен и сам обладать тяготением, сравнимым с тяготением звезды. Собственно говоря, расчеты показывают, что масса спутника Сириуса должна быть равна половине массы самого Сириуса и, следовательно, примерно равна массе нашего Солнца. И все же Сириус В невидим, почему Бессель и счел его остатком догоревшей звезды.

В том же году Бессель открыл такой же темный спутник у Проциона, так что появились Прочион А и Прочион В. Можно было предположить, что такие слабые звезды — явление весьма обычное. Считалось, что они не видны лишь из-за их очень уж слабого света и что обнаружить их можно, только если они входят в двойную или еще более сложную систему и если их тяготение воздействует на движение видимой звезды в достаточной степени для того, чтобы это воздействие можно было заметить с Земли.

В конце концов оказалось, что и спутник Сириуса, и спутник Проциона не совсем темны. В 1862 г. А. Кларк увидел Сириус В — звезду с величиной 7,1. Конечно, это не такая уж слабая звезда, но ведь система Сириуса на-

ходится от нас на расстоянии всего в 8,8 светового года. Чтобы выглядеть на таком расстоянии как звезда 7-й величины, Сириус В должен иметь светимость, по меньшей мере в 100 раз уступающую светимости нашего Солнца. В 1895 г. американский астроном немецкого происхождения Джон Мартин Шеберле (1853—1924) обнаружил Прочион В; он оказался звездой только 11-й величины. Даже с учетом того, что Прочион В находится от нас несколько дальше, чем Сириус В, он должен был оказаться еще слабее последнего. Такие звезды могли и не быть совершенно темными, но вот карликами они были наверняка!

В начале века считалось само собой разумеющимся, что звезды типа Сириуса В и Прочиона В — звезды умирающие, и слабость их света объясняется в первую очередь тем, что они уже угасают. Казалось бы, таким звездам самое место среди красных карликов, в самом нижнем конце главной последовательности.

Однако при разработке диаграммы Герцшпрунга — Рассела стало совершенно ясно, что Сириус В, например, никак в нее не укладывается. Чтобы оказаться в нижнем конце главной последовательности, звезда должна быть очень холодной и, следовательно, иметь темно-красный цвет. Но Сириус В красным не был. Он светил отчетливым белым светом. Если он и был карликом, то белым карликом.

В 1914 г. американский астроном Уолтер Сидней Адамс (1876—1956) получил спектр Сириуса В и обнаружил, что он принадлежит к классу А, как и сам Сириус А. Это означало, что температура поверхности Сириуса В не ниже, чем у Сириуса А (т. е.  $10\,000^{\circ}\text{C}$ ) и значительно выше температуры поверхности Солнца, составляющей только  $6000^{\circ}$ .

Но если Сириус В горячее Солнца, каждый квадратный километр его поверхности должен обладать большей яркостью, чем квадратный километр поверхности Солнца. Тот факт, что светимость Сириуса В была настолько ниже светимости Солнца, мог означать только одно: квадратных километров поверхности у Сириуса В было очень мало. Это была раскаленная добела, но очень маленькая звезда: как раз такая, какую можно было ожи-

дать в нижней левой области диаграммы Герцшпрунга — Рассела, области, которую я упомянул в конце предыдущей главы.

Судя по всему, Сириус В не мог не быть просто крохотным. При такой малой светимости он не мог иметь диаметр больше 27 000 км и размерами не превосходил планету Уран. Это был настоящий белый карлик.

Но при этом масса его не уступала массе Солнца! Она была определена по тому влиянию, которое тяготение Сириуса В оказывало на Сириус А, и опровергнуть этот факт было невозможно. Однако если звезда величинной с Уран обладала массой Солнца, это сразу порождало серьезные проблемы, связанные с ее плотностью, — проблемы, которые в XIX в. оказались бы неразрешимыми. Но в XX в. их уже можно было разрешить.

Собственно говоря, проблема плотности звезд была связана не только с такими необычными звездами, как Сириус В, но и с нашим собственным Солнцем.

Как только стало известно расстояние до Солнца, было уже нетрудно по его видимому диаметру вычислить его истинный диаметр, а следовательно, и объем. Объем Солнца, как оказалось, превышал объем Земли в 1 300 000 раз. Его масса, определенная по той силе, с которой оно притягивало Землю, была больше массы Земли в 333 500 раз.

Плотность исследуемого объекта можно определить, разделив его массу на объем. Таким образом, плотность Солнца составляет  $333\,500 \cdot 1\,300\,000$ , т. е. чуть больше четверти плотности Земли. Плотность Земли равна  $5,5 \text{ г/см}^3$ , и, следовательно, плотность Солнца равна  $1,41 \text{ г/см}^3$ .

Плотность воды составляет  $1,00 \text{ г/см}^3$ , и, значит, плотность Солнца в 1,41 раза больше плотности воды. Но это средняя цифра. Разумеется, плотность внешних слоев Солнца должна быть значительно ниже, а плотность его ядра (находящегося под чудовищным давлением этих внешних слоев) — значительно выше  $1,41 \text{ г/см}^3$ .

То же относится и к плотности Земли. Как я уже говорил, средняя плотность Земли равна  $5,5 \text{ г/см}^3$ , но кора, состоящая из каменных пород, имеет плотность только  $2,6 \text{ г/см}^3$ , а к центру Земли плотность повышается до  $11,5 \text{ г/см}^3$ .

Плотность Солнца должна меняться гораздо сильнее, чем плотность Земли, потому что в центре огромного Солнца давление несравненно больше, чем в центре относительно небольшой Земли.

Когда Эддингтон начал исследовать внутреннее строение Солнца и других звезд, значения, которые он получил для плотности их центральных областей, оказались невероятно высокими. Согласно расчетам, существующее на Солнце равновесие между тяготением и температурой может сохраняться только при условии, что плотность в его центре достигает или даже превосходит  $100 \text{ г/см}^3$ . Это в 5 раз больше плотности платины или сходных с ней элементов иридия и осмия — веществ, обладающих наивысшей известной на Земле плотностью.

Звезды, которые больше и горячее Солнца, обладают меньшей плотностью, а гиганты вроде Эпсилона Возничего и совсем разрежены, но звезды, которые меньше и слабее Солнца, имеют более высокую плотность. Красный карлик, известный под названием звезды Крюгер 60 В, обладает массой в 5 раз меньше массы Солнца. Однако его объем составляет  $1/125$  объема Солнца, а плотность равна  $1/5 : 1/125$  плотности Солнца, т. е. превышает ее в 25 раз. Следовательно, его средняя плотность должна составлять  $35 \text{ г/см}^3$ , что в полтора раза больше плотности платины, а плотность его центральных областей должна превосходить плотность платины в сотни раз.

В первые десятилетия XX в эти цифры не были известны, но уже предполагалось, что они окажутся очень высокими, и была выдвинута вполне естественная гипотеза, что газ во внутренних областях звезд должен быть сжат до той степени, когда он перестает вести себя как настоящий газ. Все теории относительно источников звездной энергии и эволюции звезд исходили из представления о негизовом ядре — и все оказались неверными.

Исследования Эддингтона в 20-х годах нашего века показали, что все звезды вплоть до красных карликов, несмотря на свою плотность, ведут себя так, словно полностью состоят из газа, в частности следуют соотношению масса — светимость, которое опирается на исходное предположение о чисто газовом строении звезд.

Но каким образом вещества со столь высокой плотностью могут вести себя так, словно это разреженные газы? Более того, как вообще могут существовать вещества со столь высокой плотностью? Если бы химики XIX в. были правы и атомы действительно представляли бы собой крохотные твердые бильярдные шарики, не поддающиеся ни разрушению, ни сжатию, то эти высокие плотности были бы невозможны. У обыкновенных твердых тел на Земле такие атомы уже соприкасаются, и плотность металлов типа платины очень близка к максимальной.

Однако начиная с 90-х годов XIX в все представления о строении атомов пришлось пересматривать заново. Становилось все яснее и яснее, что атомы — вовсе не безликие шарики, а сложные структуры, состоящие из субатомных частиц, каждая из которых, взятая в отдельности, была несравненно меньше целого атома. Если весь атом имел диаметр порядка одной стомиллионной сантиметра, то диаметр субатомных частиц был близок к одной десятиллионной сантиметра. Попробуем выразить это более доступным образом: субатомная частица в сто тысяч раз меньше целого атома — потребовалось бы положить рядом сто тысяч субатомных частиц, чтобы получить длину диаметра одного атома.

Объем атома в  $100\,000 \times 100\,000 \times 100\,000$ , т. е. в  $1\,000\,000\,000\,000\,000$  раз больше объема одной субатомной частицы. Поскольку даже самый сложный атом со держит лишь немногим больше 300 субатомных частиц, легко понять, что этот атом в основном состоит из пустоты и сохраняет свою чрезвычайно разреженную структуру только благодаря электромагнитным силам, которые заставляют несколько электронов двигаться в пустом пространстве вокруг крохотного ядра в центре атома. Если бы атом можно было разбить на отдельные субатомные частицы и сжать их вместе, вся система заняла бы лишь крохотную часть своего прежнего объема (для аналогии представьте себе, сколько места займет десяток картонных коробок, а потом вообразите, что их разорвали в мелкие клочки, и прикиньте, сколько места они займут после этого, для атома же это соотношение несравненно больше).

При высоких температурах атом лишается своих внешних частиц — электронов. Если температура становится достаточно высокой (а в центре звезды она, несомненно, очень высока), все атомы лишаются своих электронов и остаются одни атомные ядра. Под действием гигантского давления, существующего во внутренних областях звезды, электроны и атомные ядра могут быть сжаты в несравненно меньший объем, чем тот, который занимали бы первоначальные атомы. С уменьшением же объема плотности соответственно увеличивается, во много раз превосходя плотность платины.

Такие массы притиснутых друг к другу субатомных частиц обычно называют вырожденным веществом. Нет никаких сомнений в том, что в центре Солнца, да и всех остальных звезд находится ядро из вырожденного вещества. И это логично. В неповрежденных атомах внешние электроны со всех сторон защищают атомные ядра, препятствуя их прямому столкновению и соединению друг с другом. И только когда ядра совершенно лишены электронов, соединение ядер может происходить с быстротой, достаточной для поддержания излучения звезды.

Далее, хотя вырожденное вещество и сжато до невероятно высоких плотностей, отдельные составляющие его частицы настолько малы, что оно все же представляет собой практически пустоту. Оно в действительности столь же близко к пустоте, как и гораздо менее плотные обычные тела, состоящие из намного более громоздких атомов. Вот почему вырожденное вещество может обладать невероятно высокими плотностями и все же вести себя как газ.

Однако плотности даже красных карликов ничтожны в сравнении с плотностями белых карликов. Сириус В, по объему равный Урану, а по массе — Солнцу, должен иметь плотность, в 125 000 раз превосходящую плотность Солнца или в 8000 раз превосходящую плотность платины. Кубический сантиметр вещества Сириуса В средней плотности весил бы 200 кг. Плотность центральных областей Сириуса В должна быть намного выше этой средней плотности, хотя и она очень высока, и тем не менее Сириус В тоже, по-видимому, ведет себя так, словно он состоит только из газа.

Совершенно очевидно, что Сириус В состоит почти исключительно из вырожденного вещества. Это было трудно осознать даже в 20-х годах нашего века, однако имеются косвенные данные, подтверждающие этот факт. В 1915 г. Эйнштейн разработал свою общую теорию относительности; согласно одному из ее выводов, если свет будет двигаться против силы тяготения, он должен испытывать красное смещение. Эта теория доказывала, что обычные поля тяготения вызывают неизмеримо малое красное смещение. В то время когда Эйнштейн выдвинул свою теорию, он не знал, что достаточно мощное поле тяготения может существовать на самом деле.

Эддингтон указал, что если Сириус В действительно обладает такой плотностью, какую дают расчеты, то сила тяжести на его поверхности должна превосходить силу тяжести на поверхности Солнца в 2500 раз. В таких условиях эйнштейновское смещение должно было стать измеримым. В 1925 г. Адамс еще тщательнее исследовал спектр Сириуса В, измерив положение различных спектральных линий с учетом лучевой скорости звезды, и эйнштейновское смещение было действительно обнаружено. Это было важным доказательством справедливости общей теории относительности. Кроме того, это было важным доказательством сверхвысокой плотности Сириуса В.

Сириус В — отнюдь не исключительное явление. Известны и другие сверхплотные белые карлики. К ним, разумеется, принадлежит Прокцион В, масса которого равна 0,65 массы Солнца. Всего таких звезд было открыто не менее сотни, и многие из них открыл американский астроном голландского происхождения Вильям Якоб Лейтеп (род. в 1899 г.). В 1962 г. он обнаружил белый карлик, диаметр которого вдвое меньше диаметра Луны, — это самый маленький из ныне известных белых карликов.

Сотни белых карликов — это как будто не очень внушительное число по сравнению с миллиардами обычных звезд. Но не забывайте, как они малы и слабы. Их можно увидеть, только если они находятся очень близко от нас, в то время как обычные звезды часто бывают видны на колоссальных космических расстояниях. И если, не-

смотря на слабость их света, было открыто столько белых карликов, это, несомненно, означает, что они должны быть чрезвычайно распространены. По некоторым подсчетам они составляют целых 3% всех звезд Галактики, откуда следует, что всего в Галактике имеется около трех миллиардов белых карликов.

А теперь вернемся к вопросу, поставленному в конце предыдущей главы. Значит, звезды, исчерпавшие свое ядерное топливо, приближаются к стадии белого карлика и достигают нижнего левого угла диаграммы Герцшпрунга—Рессела? По-видимому, да, но всегда ли этот переход бывает спокойным и мирным?

### **Сверхновые**

В свете новой, ядерной теории об эволюции звезд соблазнительно считать Новые (см. стр. 108) цефеидами, так сказать, сбившимися с пути. Если обычные цефеиды пульсируют ритмично и размеренно, вздуваясь и опадая снова и снова, то Новая — это звезда, в недрах которой после долгого периода покоя по какой-то причине неожиданно развивается огромное давление, отчего она в буквальном смысле слова взрывается.

Ее светимость по мере увеличения площади поверхности быстро возрастает в 5—100 тысяч раз, особенно потому, что при этом мгновенно излучается гигантское количество энергии, которая не дает звезде остыть, пока она расширяется. В максимуме такая Новая достигает абсолютной величины —8, т. е. в это время она примерно в 20 000 раз ярче Солнца.

Однако эта яркость держится всего несколько дней. Сила взрыва выбрасывает в пространство часть звездного вещества, а с ним уносится и значительная часть энергии. То, что остается от звезды, вновь начинает стремительно спадаться, как проколотый воздушный шар, и яркость звезды уменьшается. Иногда проходит несколько месяцев, прежде чем она вернется к своей прежней яркости, а после этого она ведет себя примерно так же, как до взрыва.

Такой взрыв по земным масштабам катастрофичен. Если бы это случилось с Солнцем, земные океаны выки-



цели бы и вся жизнь на Земле, вероятно, погибла бы. Но в звездных масштабах взрыв Новой не представляется чем-то потрясающим. Максимальная яркость Новой велика, но даже в максимуме она меньше той яркости, которую  $\delta$  Золотой Рыбы имеет постоянно. А вещество, потерянное в процессе взрыва, составляет не более  $1/100\,000$  всей массы звезды, так что эта потеря не имеет практически никакого значения.

После периода покоя продолжительностью от 10 до 100 лет Новая вполне способна перенести еще один взрыв. У звезды  $\theta$  Компаса с 1890 г. наблюдались четыре таких «новообразных» пика яркости. То свойство, которое вызывает нарушение равновесия у этих звезд и заставляет их взрываться, по-видимому, сохраняется и вновь вызывает повторные взрывы, так же как повторно извергается вулкан.

Взрывы Новых дают пищу не только для теории — последствия взрывов поддаются прямому наблюдению. Когда Новая приближается к максимуму (если астрономам повезет и они наблюдают рост яркости до максимума, а не замечают происходящее, как, к сожалению, бывает очень часто, только после взрыва), линии поглощения в ее спектре показывают значительное фиолетовое смещение, означающее, что звезда движется по направлению к нам. И отчасти это действительно так, ибо сброшенные взрывом внешние слои быстро удаляются от звезды, и та их часть, которая находится между нами и звездой, несется к нам с очень большой скоростью.

Взрыв или его последствия можно в некоторых случаях даже наблюдать непосредственно. После того как в 1918 г. появилась Новая Орла, Барнард заметил, что ее окружает туманная оболочка, которой прежде не было. Эта оболочка, состоявшая, вероятно, из выброшенного взрывом газов, продолжала удаляться от звезды с неизменной скоростью, постепенно расширяясь и ослабевая. До 1941 г., когда она уже настолько ослабла, что стала невидимой. Другие Новые порождают подобные же явления.

К сожалению, астрономы до сих пор еще не пришли к общему мнению о причинах взрывов Новых. Недавно выдвинуто предположение, что Новые встречаются толь-

ко среди звезд, входящих в тесные звездные пары, и что взаимодействие между этими звездами иногда ведет к взрыву. Может быть.

Однако не все взрывающиеся звезды — это просто Новые. Это стало очевидным в середине 20-х годов нашего века, когда впервые было установлено, какое гигантское расстояние отделяет нас от галактики Андромеды. Если это расстояние действительно так велико, то какова же была Новая S Андромеды, которая вспыхнула в этой галактике в 1885 г. (см. стр. 113)?

Когда S Андромеды была обнаружена, она была звездой 7-й величины, но не исключено, что ее обнаружили уже после того, как она достигла своего максимума, и что какое-то короткое время она была видима невооруженным глазом как звезда чуть ярче 6-й величины.

Конечно, она и в этом случае была лишь слабой, едва видимой звездой. Но для того, чтобы эта звезда могла быть видима невооруженным глазом на том расстоянии, которое отделяет нас от галактики Андромеды, ее блеск должен был быть настолько колоссальным, что ошеломил бы самого искушенного астронома. S Андромеды в своем максимуме была ярче всей остальной галактики Андромеды. Одна звезда превзошла суммарный блеск миллиардов обыкновенных звезд!

По современным оценкам, основанным на последних цифрах, принятых для расстояния до галактики Андромеды, абсолютная величина S Андромеды в максимуме была — 19. Это означает, что хотя бы несколько дней она сияла блеском, равным блеску 100 000 простых Новых или почти в 10 миллиардов раз превышающим блеск нашего Солнца.

S Андромеды была не просто Новой, она была Сверхновой. Едва это стало ясно, как были предприняты розыски других образчиков этого нового и поразительного типа звезд. Если обычные Новые бывают видны только в ближайших галактиках, Сверхновая, чья яркость равна яркости всей галактики, может быть, конечно, обнаружена на том же расстоянии, на каком видны сами галактики. Другими словами, на том расстоянии, какое только доступно нашим телескопам.

Особенно выдающимся охотником за такими Сверхновыми, сияющими, как целая галактика, был американский астроном швейцарского происхождения Фриц Цвикки (род. в 1898 г.), который с 1936 г. обнаружил целый ряд их в различных галактиках. По его оценке, обычные Новые появляются в каждой данной галактике в среднем по 25 в год, а Сверхновые появляются в каждой данной галактике только по три за тысячелетие.

К концу 30-х годов наблюдения американских астрономов немецкого происхождения Вальтера Бааде (1893—1960) и Рудольфа Лео Минковского (род. в 1895 г.) показали, что Сверхновые можно подразделить на две разновидности — типы I и II, возможно, существует еще и тип III. Сверхновые типа II обладают более низкой светимостью — они лишь в 200 раз ярче обычных Новых — и, возможно, более многочисленны, хотя и наблюдаются реже из-за своей более низкой светимости. Сверхновые типа III сходны с типом II, но обладают более пологой кривой спада блеска. Сверхновые типа I — это настоящие гиганты в своем классе, и S Андромеды была Сверхновой типа I.

Совершенно очевидно, что Сверхновые, как и простые Новые, обязаны увеличением своей яркости взрыву. Поскольку Сверхновые достигают гораздо большей яркости, чем простые Новые, и сохраняют эту яркость дольше, порождающие их взрывы должны носить более катастрофический характер. Если обычные Новые теряют, по современным оценкам, при взрыве  $1/100\,000$  своей массы, то Сверхновые типа II теряют от  $1/100$  до  $1/10$  своей массы, а Сверхновые типа I — от  $1/10$  до  $9/10$  своей массы.

Хотя со времени изобретения телескопа в пределах нашей Галактики был изучен целый ряд Новых, в ней за все три с половиной века, протекших с того времени, когда Галилей навел свою увеличительную трубу на небо, не наблюдалось ни одного объекта, который бесспорно мог бы быть назван Сверхновой.

Однако если верить истории, то, по-видимому, за последнюю тысячу лет (в точном согласии с оценкой Цвикки) в нашей Галактике вспыхнуло три Сверхновых. Это были новые звезды 1054 г., 1572 г. и 1604 г. (см. стр. 206). Кроме того, есть основания полагать (по ре-

зультатам тщательных розысков в восточных хрониках, о которых сообщалось в 1966 г.), что четвертая Сверхновая, возможно, вспыхнула в 1006 г.

Из этих Сверхновых меньше всего наблюдений было произведено над первой, но именно она оказалась намного интереснее остальных. Возможно, это была одна из самых ярких когда-либо существовавших Сверхновых, а также самой близкой к нам из всех вспыхивавших в историческое время. Кроме того, она отличается от всех Сверхновых тем, что оставила после себя замечательный след, который в небольшой телескоп виден как туманное пятно.

В 1764 г. Мессье наблюдал это пятно в созвездии Тельца и занес его в свой список туманностей. Собственно говоря, это был первый объект в его списке, и иногда его называют M 1.

80 лет спустя, в 1844 г., лорд Росс изучил его более подробно с помощью своего мощного телескопа и ему удалось различить его строение. Ничего похожего на этот объект в небесах больше не было — он представлял собой массу клубящегося газа, пронизанного многочисленными светящимися волокнами. Эти многочисленные рваные нити показались Россу похожими на ножки краба, и он назвал туманность Крабовидной, как называют ее и по сей день.

Крабовидная туманность больше всего похожа на картину, изображающую огромный взрыв. Для того чтобы увидеть это, не требуется особого воображения — такое сравнение напрашивается само собой. Туманность находится примерно в той точке, где китайские астрономы отметили в 1054 г. свою Сверхновую, и это наводит на очень соблазнительное предположение, что Крабовидная туманность — остаток этого взрыва, в середине 20-х годов нашего века, когда астрономы узнали, что такая Сверхновая действительно существовала, это мнение стало общепринятым.

Фотографии Крабовидной туманности, сделанные за последние несколько десятилетий, показывают, что клубящиеся газы перемещаются от центра наружу на ничтожную, но измеримую долю секунды дуги в год. Спектроскопические данные тоже показывают, что газ на об-

ращенной к нам стороне туманности приближается со скоростью примерно 1300 км/сек. Если Крабовидная туманность — действительно масса взорвавшегося газа, то этот газ должен двигаться от центра по всем направлениям приблизительно с одинаковой скоростью. Поэтому можно считать, что лучевая скорость, измеряемая в километрах в секунду, равна тангенциальной скорости, измеряемой в секундах дуги в год. Можно рассчитать, на каком расстоянии такая скорость соответствует столько-то секундам в год, и оказывается, что Крабовидная туманность находится от нас на расстоянии примерно в 4000 световых лет и что расширяющаяся газовая сфера имеет максимальный поперечник примерно в 6 световых лет.

Если мы, исходя из скорости расширения газа, рассчитаем, как он двигался в прошлом, то окажется, что он находился в исходной точке около 900 лет назад, а именно этого и следовало ожидать, если Крабовидная туманность — действительно остатки Сверхновой 1054 г. К 1942 г. этот факт был, по-видимому, окончательно установлен, в основном благодаря тщательным расчетам Оорта.

Столь же заметных остатков от Сверхновой 1572 г. и от кеплеровской Сверхновой 1604 г. (последняя, возможно, была всего только Сверхновой типа II) обнаружить не удалось, хотя в 1966 г. было выдвинуто предположение, что еле заметные скопления газа примерно в 11 400 световых лет от нас (втрое дальше, чем Крабовидная туманность) являются, возможно, останками Сверхновой Тихо Браге. С другой стороны, существует один класс астрономических объектов, которые могут быть остатками Сверхновых, пылавших в небесах Земли задолго до эпохи письменности, а может быть, даже и до появления человека.

Это так называемые планетарные туманности — звезды, окруженные сферическими газовыми туманностями большой протяженности. Самый толстый слой газа оказывается на луче нашего зрения по краям такого ореола, и именно там этот газ становится наиболее заметным, как, например, в кольцевой туманности в созвездии Лир. Такое кольцо газа напоминает дапласовские газовые

оболочки, которые якобы отрывались от вращающихся туманностей, а потом сгущались в планеты. Этим и объясняется название таких объектов. Туманность Покрываало в созвездии Лебеда кажется остатком такой оболочки, расширившейся до необычно больших размеров. Может быть, это след взрыва Сверхновой, который произошел 100 тысяч или больше лет назад.

Известно около 500 планетарных туманностей, а в Галактике их может быть и много тысяч. Ближайшая из них, NGC 7296, отделена от нас столь малым расстоянием, что ее параллакс поддается измерению. Она находится всего в 85 световых годах, и диаметр ее газового кольца составляет примерно треть светового года. Существуют разные объяснения природы и происхождения этих газовых оболочек, но возможно, что некоторые, если не все они, состоят из вещества, выброшенного в пространство много тысяч лет назад, когда центральная звезда такой туманности взорвалась как Новая или Сверхновая.

### *Умирающие звезды*

Два типа звезд, рассмотренных пока в настоящей главе — белые карлики и Сверхновые, — по-видимому, тесно связаны друг с другом.

Чтобы понять, почему это так, вернемся к звездам, находящимся на последней стадии потребления ядерного топлива, — к звездам, которые накапливают в самом внутреннем ядре железо и которым уже больше некуда идти по пути ядерных реакций.

Для того чтобы такая звезда продолжала излучать, она должна обратиться к последнему источнику энергии — к полю тяготения. Она вновь должна сжаться, как уже сжималась в давно прошедшие дни, прежде чем в ее центре начались ядерные реакции. Но теперь, когда звезда излучает энергию гигантскими темпами, сжатие, чтобы дать необходимое количество энергии, должно быть очень быстрым.

Когда была понята природа вырожденного вещества, астрономы увидели, что такое сжатие может быть чрезвычайно быстрым: обычная звезда способна почти

миновенно превратиться в крохотного белого карлика. Генло сжатия накалил его добела, но из-за своей малой поверхности он после сжатия будет излучать намного меньше энергии, чем до него. Количество энергии, которое эта звезда будет излучать, став белым карликом, настолько мало, что это излучение может поддерживаться в течение миллиардов лет дальнейшим чрезвычайно медленным сжатием. Процесс, который Гельмгольц когда-то считал общим для всех звезд, оказался вполне применимым к белым карликам.

Несмотря на свою колоссальную плотность, белый карлик может сжиматься и дальше. Предел в этом направлении еще далеко не достигнут. Плотность Сириуса В превышает плотность Солнца в 125 000 раз, но субатомные частицы, роящиеся в его почти полностью вырожденном веществе, отнюдь не соприкасаются между собой. Для того чтобы они соприкоснулись, Сириус В должен был бы сжаться до диаметра в какие-нибудь 13 км (!).

По мере того как белый карлик сжимается, он остывает. Температура его поверхности в момент образования может достигать  $50\,000^{\circ}\text{C}$ , но Сириус В, чья поверхность имеет температуру  $10\,000^{\circ}\text{C}$ , — все еще относительно молодой белый карлик, и его светимость близка к максимальной возможной, которая составляет  $1/100$  светимости Солнца. Белые карлики постарше соответственно холоднее, и у белого карлика ван Маанен 2, который пробыл в этом состоянии не меньше 4 миллиардов лет, температура поверхности всего лишь  $4000^{\circ}\text{C}$ . Он имеет отчетливый красноватый оттенок и обозначается поэтому явно противоречивым термином «красный белый карлик». И все же даже ван Маанен 2, скупо расходуя свой запас энергии тяготения, может существовать еще много миллиардов лет до того, как погаснет совсем. Срок жизни белого карлика настолько велик, что, быть может, сама Галактика еще недостаточно стара, чтобы быть свидетельницей окончательного угасания хотя бы одной такой звезды.

Однако если белые карлики — умирающие звезды, то в связи с системой Сириуса возникает интересная проблема. Сириус А и Сириус В должны были образоваться одновременно. И все же Сириус А находится в расцвете

жизни, а Сириус В — глубокий старик. Как же это могло получиться?

Если возраст обоих одинаков, это может означать только, что Сириус В жил намного быстрее, чем Сириус А. Но для этого, согласно соотношению масса—светимость, Сириус В должен был бы обладать большей массой, чем Сириус А, и, возможно, намного большей. И все же Сириус В — во всяком случае, на стадии белого карлика — имеет вдвое меньшую массу, чем Сириус А. Что же случилось с остальной частью той массы, которая когда-то у него, видимо, была?

Нам известно, что значительное количество звездного вещества теряется в пространстве при взрыве Сверхновой. Так нельзя ли предположить, что Сириус В миллиард или более лет назад взорвался, как Сверхновая? Это вполне правдоподобно.

Такое предположение опирается на теоретические труды американского астронома, индийца по происхождению, Субраманьяна Чандрасекхара (род. в 1910 г.). Даже в белом карлике должно существовать равновесие между сжимающей его силой тяготения и расширяющим действием температуры. Поле тяготения белого карлика во много раз мощнее, чем у обычной звезды, и чтобы уравновесить его действие, температура внутренних областей также должна быть соответственно выше. Чем больше масса белого карлика, тем мощнее сжимающее его тяготение и тем меньше и плотнее он должен быть. При определенной критической массе (предел Чандрасекхара) уже никакая температура не сможет воспрепятствовать тому, чтобы белый карлик сжался до какого-то конечного предела. В 1931 г. Чандрасекхар доказал, что эта критическая масса равна примерно 1,4 массы Солнца. Его теория подтверждается тем фактом, что ни один из белых карликов, масса которых была измерена, даже не приближается к пределу Чандрасекхара.

Когда звезда средних размеров, вроде Солнца, истощит ядерное топливо своих внутренних областей, она начнет более или менее непрерывно сжиматься. В течение этого процесса в ней, возможно, произойдет небольшой взрыв, когда теплота сжатия воспламенит остатки ядерного топлива в ее внешних слоях. Таких взрывов



может быть несколько. По крайней мере некоторые из обычных Новых могут представлять именно эту стадию эволюции звезды. Возможно даже, что таким образом прямо на глазах у астрономов образовался настоящий белый карлик. Одна из повторных Новых, WZ Стрелы, впервые вспыхнула в 1913 г. и снова — в 1946 г. Теперь ее светимость равна только  $1/100$  светимости Солнца и она обладает всеми признаками белого карлика

Чем больше масса звезды, тем сильнее проявляется эффект сжатия и тем колоссальнее получающийся в результате взрыв. Такие взрывы выбрасывают в пространство все большие и большие доли массы, доводя оставшуюся часть до безопасной величины ниже предела Чандрасекхара<sup>1)</sup>. Следовательно, Сверхновая — это агония массивной звезды, а Сверхновая типа I — это агония особенно массивной звезды.

Но что именно дает толчок для внезапного спадения звезды? Это случается так неожиданно! Было предложено два объяснения этой внезапной катастрофы, и оба они могут быть верными — каждое для звезды своего типа.

Одно объяснение исходит из предположения, что температура «задушенного» железом внутреннего ядра звезды поднимается все выше и выше и в конце концов достигает определенной критической точки, когда чрезвычайно мощное излучение разбивает атом железа на ядра гелия. Этот процесс не приводит к выделению энергии. Он поглощает энергию — всю энергию, содержащуюся в излучении, давшем ему первый толчок. В какой-то степени этот процесс протекает и при более низких температурах, но после достижения критической точки он развивается с такой скоростью, что поглощенная энергия уже не может быть возмещена последними остатками ядерных процессов, происходящих во внутренних областях звезды. Температура ее ядра несколько понижается.

---

<sup>1)</sup> Если звезда по какой-либо причине не теряет всю ту массу, от которой она должна избавиться, чтобы оставшаяся масса стала меньше критической, возникают другие возможности, которые будут рассмотрены ниже (см стр 296)

Когда температура понижается, верх берет уже больше не уравновешиваемая сила тяготения, сжимающая звезду. Звезда резко сжимается, и ядро нагревается за счет энергии тяготения. Эта энергия поддерживает процесс превращения железа в гелий, и звезда продолжает сжиматься все быстрее. Короче говоря, вся энергия, отпущенная ядром за несколько миллионов лет при слиянии ядер гелия в ядра железа, теперь должна быть возмещена за несколько часов (!) из единственного еще оставшегося источника энергии — поля тяготения.

Второе объяснение было предложено в 1961 г. американским астрономом китайского происхождения Чу Хон и (род в 1932 г.). Чтобы разобраться в нем, необходимо ознакомиться с некоторыми дополнительными данными.

Обычное излучение ядра звезды легко поглощается звездным веществом. Порция высвобожденного излучения почти сразу поглощается, снова высвобождается, снова поглощается и т. д. Излучение, так сказать, переходит из рук в руки в любом случайном направлении и выбирается на поверхность звезды лишь постепенно. Среднее время, необходимое для того, чтобы данная порция энергии проделала путь от ядра Солнца, где она выделялась, до его поверхности, откуда она будет излучена в пространство, оценивается в миллион лет. Таким образом, вещество Солнца является прекрасным изолятором, и поэтому в его центре температура может достигать  $15\,000\,000^{\circ}\text{C}$ , тогда как его поверхность, находящаяся от центра всего лишь в  $650\,000\text{ км}$ , имеет температуру всего в  $6000^{\circ}\text{C}$ .

Помимо обычного излучения, при ядерных реакциях в недрах звезд возникают крохотные частицы, так называемые нейтрино. Нейтрино движутся со скоростью света, как и обычное излучение, но обладают одним очень важным свойством: нейтрино лишь чрезвычайно редко поглощаются веществом. Любые нейтрино, образующиеся в центре Солнца, движутся паружу во всех направлениях, не испытывая никакого воздействия со стороны солнечного вещества. За  $3\text{ сек}$  они достигают поверхности Солнца, а затем улетают во внешнее пространство, унося с собой частицу солнечной энергии.

При температуре, царящей во внутренних областях Солнца, число нейтрино ничтожно по сравнению с обычным излучением. Если считать нейтрино, так сказать, формон утечки энергии, то для Солнца такая утечка практически незаметна.

Однако по мере того, как звезда стареет, температура в ее центре повышается, нейтрино образуются все быстрее и быстрее, и потеря энергии, уносимой нейтрино, становится более заметной. Когда достигается критическая температура в  $6\,000\,000\,000^{\circ}\text{C}$  (согласно вычислениям Чу), эта утечка достигает таких размеров, что ядерные реакции, происходящие в глубинах звезды, уже не могут выработать достаточно энергии, чтобы воспрепятствовать ее мгновенному сжатию.

Вызывается ли потеря энергии в ядре внезапным началом превращения железа в гелий или колоссальной утечкой энергии с нейтрино, результат в обоих случаях один — внезапное катастрофическое сжатие звезды. При этом сжимаются и внешние слои звезды. Однако эти внешние слои все еще содержат ядерное топливо, у самой поверхности — даже водород. Поверхностная температура даже самых горячих звезд недостаточна для того, чтобы этот водород начал превращаться в гелий. Но теперь благодаря добавочной теплоте сжатия воспламеняется все оставшееся в звезде топливо. Энергия, которой при обычных обстоятельствах могло бы хватить на сотни тысяч лет, излучается в пространство за очень короткое время.

Если Сверхновые — это этап превращения звезды в белого карлика, то в центре Крабовидной туманности должен был бы находиться белый карлик. И действительно, там имеется крохотная голубоватая звезда как раз с такой температурой, какую следовало бы ожидать у молодого белого карлика — и принято считать, что она и является белым карликом.

Если планетарные туманности — остатки взрывов Сверхновых, то в центрах хотя бы некоторых из них должны находиться белые карлики. Центральные звезды планетарных туманностей, все без исключения, — голубоватые белые звезды, какими, повторяю, и должны быть отпосигечно молодые белые карлики. Центральная звезда

ближайшей к нам планетарной туманности NGC 7293 — звезда 10-й величины, хотя и находится всего в 85 световых годах от нас; это, несомненно, белый карлик.

Если расчеты Цвикки верны и в каждой галактике действительно вспыхивают три Сверхновых в тысячелетие, то за 5 миллиардов лет существования солнечной системы в нашей Галактике должно было вспыхнуть 15 миллионов Сверхновых и образоваться такое же число белых карликов. Прибавьте к этому Сверхновые, которые вспыхивали еще до образования солнечной системы, а также белые карлики, возникшие из звезд настолько маленьких, что они избежали стадии Сверхновой, и мы уже не будем удивляться тому, что белые карлики, по видимому, так многочисленны.

### ***Звезды второго поколения***

Когда большая звезда вспыхивает как Сверхновая, некоторое количество ее вещества выбрасывается в пространство и постепенно смешивается с уже находящимся там разреженным газом.

Выброшенное взрывом звездное вещество богато всеми элементами вплоть до железа, так как все они имелись в звезде в момент взрыва. Более того, выброшенное взрывом вещество должно также содержать и элементы более сложные, чем железо. Эти элементы не могут образовываться без поглощения энергии, и в обычной звезде они не образовались бы. Однако в Сверхновой энергия вырабатывается столь чудовищно быстро, что часть ее, возможно, расходуется, так сказать, на постройку более сложных, чем железо, атомов. Так должны возникать атомы всех элементов вплоть до урана, наиболее сложного из всех элементов, встречающихся в заметных количествах в земной коре.

Весьма вероятно даже, что образуются элементы и более сложные, чем уран. Подобных трансурановых элементов на Земле в естественных условиях не существует, так как они чрезвычайно неустойчивы. Конечно, и сам уран неустойчив — он постоянно распадается и, пройдя через определенные стадии, превращается в свинец. Однако распад урана происходит так медленно, что даже

через 4,5 миллиарда лет (что равно почти всей жизни Земли) еще сохраняется половина его первоначального количества. Распад же трансурановых элементов происходит гораздо быстрее, и если какие-нибудь из них и существовали в период образования Земли, к настоящему времени они все уже исчезли.

Однако Сверхновые, пожалуй, намекают нам, что в них — хотя бы мимолетно — появляется элемент калифорний, стоящий в таблице элементов на шесть мест дальше урана. Блеск многих Сверхновых, по-видимому, уменьшается наполовину за 55 дней. А одна из разновидностей калифорния — калифорний-254 — обладает именно таким периодом полураспада. Возможно, здесь существует какая-то связь.

Во всяком случае, после того, как Сверхновая вспыхнула себе на гибель и возникший белый карлик отправился в свое путешествие вокруг центра Галактики, движение газовой оболочки, выброшенной взрывом, затормозится из-за трения о разреженный газ в межзвездном пространстве, и она надолго задержится в той области пространства, где произошел взрыв, и будет «загрязнять» этот газ. Эта область, которая прежде содержала только разреженный водород, теперь будет содержать некоторое количество гелия и еще меньшее количество более сложных атомов.

А если из этого загрязненного вещества образуется звезда? Она все-таки будет состоять почти из одного водорода. Она проживет многие миллиарды лет, на протяжении которых источником энергии, питающей ее излучение, будет слияние ядер водорода в ядра гелия (при условии, что ее масса с самого начала не окажется слишком большой). Но доля сложных атомов в ее составе будет больше, чем можно было бы ожидать.

По-видимому, именно так обстоит дело с нашим Солнцем (вот и ответ на вопрос, поставленный на стр. 153). По-видимому, Солнце — звезда «второго поколения», образовавшаяся в области, где перед этим существовала другая звезда, погибшая во взрыве.

Если бы Солнце первоначально на 100% состояло из водорода, ему потребовалось бы 20 миллиардов лет, чтобы достичь нынешнего уровня содержания водорода,

равного 81%. Если же оно с самого начала содержало только 87% водорода, то для достижения нынешней стадии ему потребовалось бы всего 5—6 миллиардов лет. Именно так, скорее всего, и было.

Планеты, возникавшие на окраинах медленно сгущающегося газового облака, из которого образовалась солнечная система, также должны были в конце концов сформироваться из материала, содержащего значительную примесь более сложных атомов. Земля, которая в самом начале была слишком мала и горяча, чтобы удерживать водород и гелий, почти вся состоит из более сложных атомов. У Земли есть ядро, включающее почти треть ее массы, и почти все оно — жидкое железо. Это показывает нам, какое количество железа выплюнуло в пространство взорвавшаяся Сверхновая, чье собственное ядро было нашпиговано железом.

Фред Хойл даже высказал несколько лет назад предположение, что Солнце когда-то, подобно Сириусу, было компонентом двойной звезды и что его спутник вспыхнул как Сверхновая. Так Хойл пытался объяснить химический состав планет, а также их очень большой момент количества движения — ведь они должны были получить значительную часть момента количества движения взорвавшейся звезды. Однако, если мы примем эту гипотезу, нам придется ответить на вопрос, куда девался белый карлик, который должен был образоваться из Сверхновой. Предположение Хойла оригинально и интересно, но большинство астрономов с ним не соглашается.

# Эволюция галактик

### *Вопрос о вечности*

Итак, рассматривая проблемы эволюции звезд, мы пришли к гипотезе, что хотя Солнце, возможно, существует только 5 миллиардов лет, история Галактики гораздо длиннее, так как Солнце образовалось из остатков другой, более старой звезды. И действительно, тщательное изучение состава некоторых шаровых скоплений и сравнение количества потребленного ими водорода с теми запасами, которые им еще предстоит потребить, показывает, что эти скопления существуют уже 25 миллиардов лет.

Но стоит ли и это считать крайним пределом? Так ли уж необходимо исходить из того, что Вселенная вообще имеет конечный возраст? У отдельной звезды есть свой срок жизни, но ведь другие звезды могли жить и умирать до нее бесконечной чередой. В качестве аналогии можно сказать, что человечество существует в течение срока, неизмеримо превосходящего срок жизни отдельного человека.

Мы, конечно, могли бы рассуждать так энергия Вселенной (включая и массу как одну из форм энергии), насколько нам известно, существовала всегда и будет существовать всегда, ибо невозможно создать энергию из ничего или превратить ее в ничто. Отсюда следует, что субстанция Вселенной вечна, а следовательно, вечна и сама Вселенная.

Однако это не совсем то, что мы имеем в виду. Нас интересует не просто субстанция Вселенной. Вопрос в том, всегда ли эта субстанция существовала и будет существовать в форме известной нам Вселенной — Вселенной со звездами и планетами, способной служить прию-

том живым существам вроде нас, или же у этой известной нам конкретной Вселенной было реальное начало и будет реальный конец

Насколько мы можем сейчас судить, нынешнее существование известной нам Вселенной (именно ее я буду подразумевать теперь, говоря о Вселенной) определяется выделением энергии в процессе водородного синтеза Вселенную, существовавшую до того, как начался водородный синтез, мы должны представлять себе (исходя из того, что говорилось в предыдущих главах) как простую вращающуюся массу газа, кое-где, быть может, раскаленного докрасна. Когда водородный синтез будет полностью закончен, Вселенная будет состоять только из белых карликов, которые к тому времени уже пройдут какую-то часть пути к окончательному угасанию. Известная нам Вселенная существует только на протяжении периода, когда водородный синтез происходит в широких масштабах.

Таким образом, спрашивая, вечна ли Вселенная, мы в сущности спрашиваем, может ли вечно продолжаться водородный синтез.

Теперь вы видите, почему на стр 119 я коснулся вопроса о том, бесконечна ли Вселенная, а затем, ничего не ответив, обратился к вопросу о возрасте различных небесных тел. Вот теперь я касаюсь вопроса, вечна ли Вселенная, и оказывается, что оба эти вопроса в некоторых отношениях тесно связаны между собой.

Ведь если количество водорода во Вселенной бесконечно, то при условии, что скорость водородного синтеза конечна, ядра водорода, без сомнения, могут вечно соединяться в ядра гелия. Другими словами, бесконечная Вселенная должна быть и вечной Вселенной. Конечная же Вселенная неизбежно должна быть конечной не только в пространстве, но и во времени

Пространственно конечная Вселенная могла бы все же быть вечной, если бы существовал какой-то процесс, противоположный водородному синтезу, в ходе которого водород восстанавливался бы, становясь пригодным для нового синтеза. Кроме того, это не должно происходить за счет невозполнимого расходования других источников энергии, таких, например, как поле тяготения



Надо сказать, что на первый взгляд это представляется невозможным: ведь, согласно безоговорочной научной доктрине, энергия сохраняется и не может быть уничтожена (это иногда называется первым началом термодинамики). Однако, хотя энергия всегда присутствует вокруг нас в постоянном количестве, она не всегда может быть превращена в полезную работу. А именно эта возможность превращения ее в работу является необходимым условием существования известной нам Вселенной. Более того, закон природы, называемый вторым началом термодинамики и, по-видимому, столь же универсальный и важный, как первое начало, гласит, что количество энергии, которая может быть превращена в работу, непрерывно уменьшается.

Вот почему (приведем самый простой пример) вода, которая стекла вниз по склону, не может сама подняться вверх по склону. Ее необходимо поднимать вверх насосом за счет энергии, полученной из какого-то другого источника. Любая система, которая исчерпала свой запас энергии, совершила ли она при этом полезную работу или нет, может быть возвращена в прежнее состояние и вновь проделать тот же путь, но только за счет энергии, поступающей извне. Более того, для восстановления истощившейся системы всегда требуется больше энергии, чем ее можно получить, снова пустив эту систему в ход, и, таким образом, процесс восстановления всегда влечет за собой чистую потерю энергии<sup>1)</sup>. Второе начало термодинамики, насколько нам известно, исключений не имеет.

Итак, мы можем прийти к выводу, что мало-помалу все бóльшая и бóльшая часть имеющейся во Вселенной энергии будет необратимо и безвозвратно погребаться в

---

<sup>1)</sup> Автор забывает подчеркнуть, что невозвратимая «потеря» энергии в системе происходит лишь в том случае, когда в цепи превращений энергии происходит переход какого-либо вида энергии в тепло — энергию хаотического движения. Теплота действительно не может быть превращена в другие формы энергии полностью без привлечения источников энергии извне. Это положение (одна из возможных формулировок второго начала термодинамики) справедливо лишь для замкнутых систем. Вопрос о том, насколько можно считать Вселенную замкнутой системой, остается открытым о чем автор упоминает ниже — *Прим ред*

белых карликах, и так кончится та Вселенная, которую мы знаем. Обратившись к прошлому, мы, кроме того, можем сделать вывод, что, хотя звезды существовали и до возникновения Солнца, было время — примерно 25 миллиардов лет назад, — когда вся энергия Вселенной была сосредоточена во вращающихся клочьях разреженного водорода, и это, с нашей точки зрения, было началом Вселенной

Согласно этим рассуждениям, срок жизни Вселенной, возможно, достигает тысячи миллиардов лет и сороковая часть этого колоссального (но все же конечного) срока уже прошла

С другой стороны, этот вывод опирается на предположение, что первый и второй законы термодинамики справедливы повсюду во Вселенной, а не только в той маленькой ее области, которую мы имели возможность исследовать, и что они справедливы при всех возможных обстоятельствах, а не только при тех, которые известны нам.

Не забывая о том, что эта предпосылка может оказаться неверной, продолжим наши попытки установить, является ли наша Вселенная бесконечной и вечной или она конечна и ограничена во времени. А для этого обратимся от отдельных звезд к галактикам

## **Типы галактик**

Представление об эволюции звезд было получено путем изучения различных свойств различных видов звезд. Эти различные свойства устанавливались почти исключительно по спектрам, так как сами звезды слишком малы, чтобы можно было рассмотреть какие либо детали их строения

Представление об эволюции галактик также можно получить, рассматривая различные свойства различных видов галактик. Однако тут имеется некоторое отличие галактики гораздо больше звезд. Несмотря на то, что галактики находятся значительно дальше от нас, чем отдельные звезды нашего уголка пространства, эти далекие галактики видны в наши телескопы не просто как точки. Это пятна света, каждое своей особой формы, а у

нескольких тысяч ближайших к нам галактик можно рассмотреть много подробностей

Хаббл разделил все галактики на три главных типа: спиральные, эллиптические и неправильные (см. стр. 118). Однако ему удалось пойти дальше, и в 1925 г. он опубликовал подробную классификацию, которая с тех пор и принята в астрономии. Например, эллиптические галактики, у которых нет спиральных ветвей и которые похожи на очень далекие и очень большие шаровые скопления, различаются по степени их сплюснутости. Некоторые из них почти сферичны (их можно назвать шаровидными галактиками), другие заметно сплюснуты, третьи — очень сильно сплюснуты и т. д. Хаббл обозначил все эллиптические галактики буквой E, а степень их сплюснутости — цифрами. E0 обозначает шаровидную галактику, а обозначения от E1 до E7 соответствуют все увеличивающейся степени сплюснутости. Галактики E7 наиболее сплюснуты, и края их (если они видны с ребра) выглядят такими заостренными, словно у них должны вот-вот появиться спиральные ветви.

Среди спиральных галактик Хаббл различал два типа: первый — это обычная галактика, у которой ветви непосредственно соединены с эллиптическим ядром и загибаются вокруг него, как, например, у галактики Андромеды, но имеются и такие галактики, у которых прямая полоса звезд пересекает ядро и тянется по обе стороны. От обоих концов этой полосы отходят спиральные ветви. Это спиральные галактики с перемычкой, которые составляют, по-видимому, 30% всех спиральных галактик.

Хаббл обозначил обычные спиральные галактики через S, а спиральные галактики с перемычкой через SB. Затем он подразделил спиральные галактики обоих классов согласно тому, насколько плотно или слабо закручиваются ветви вокруг ядра, воспользовавшись для обозначения этого строчными буквами: для наиболее тесно расположенных ветвей a, затем b и для самых рыхлых структур c. Спиральная галактика может обозначаться Sa, Sb или Sc, если же это галактика с перемычкой, то SBa, SBb или SBc.

Галактика Андромеды обозначается Sb. Наша собственная Галактика считается сходной с галактикой Ан-



По мере того как галактика продолжала сжиматься и становилась все более компактной, вращение ее ускорялось, что вело к увеличению сплюснутости, и в конце концов (точно так же, как у лапласовской туманности, из которой возникали планеты) от ее экватора начинали отделяться струи вещества. Так возникали спиральные галактики без перемычки или с перемычкой (ни Хаббл и никто другой не пытались объяснить, почему вообще возникает перемычка). Со временем, по мере того как галактика продолжала сжиматься и ускорять свое вращение, ветви все дальше отходили от ядра, и как спиральные, так и спиральные с перемычкой галактики проходили через стадии а, b и с. Неправильные галактики, возможно, знаменовали последний этап этой эволюции.

Поскольку эллиптические галактики, видимо, особенно велики, а неправильные галактики обычно малы, следовало предположить, что чем больше галактика, тем медленнее проходит она этот путь развития: очень большие галактики задерживаются на эллиптической стадии, тогда как очень маленькие галактики быстро достигают конечной стадии неправильной галактики.

Если эта схема верна, то приходится считать, что галактика Андромеды и тем более наша собственная Галактика относительно стары и уже далеко продвинулись по пути эволюции.

## **Звездные населения**

Однако в 40-х годах возникла новая точка зрения. В 1942 г. Бааде выпала редкая для астронома удача. Во время второй мировой войны в Лос-Анжелесе было введено затемнение, и с помощью 100-дюймового телескопа обсерватории Маунт Вилсон можно было отчетливо рассмотреть галактику Андромеды.

До этого Хабблу и его преемникам удавалось различать отдельные звезды только в спиральных ветвях. Теперь Бааде удалось увидеть и сфотографировать звезды в ядре туманности Андромеды.

И тут выявилось важное различие. Самыми яркими звездами спиральных ветвей были голубовато-белые гиганты, очень большие и горячие, напоминающие самые

яркие звезды ближайшей к нам области нашей собственной Галактики. Но самые яркие звезды в ядре Андромеды оказались красноватыми, голубовато-белых там не было вовсе.

Это подтверждалось и результатами спектральных анализов. Спектр ядра Андромеды и других галактических ядер, которые удавалось исследовать, тяготел к классу К. Другими словами, в среднем свет этих областей излучался поверхностями более темных и холодных звезд, чем Солнце. А общий спектр спиральных ветвей Андромеды и других галактик был близок к классу F, т. е. свет этих областей в среднем излучался поверхностями более горячих и ярких звезд, чем Солнце.

Получалось, что в областях, где звезды располагались очень тесно, например в шаровых скоплениях, галактических ядрах и эллиптических галактиках, они в основном принадлежали к одному и тому же типу, который Бааде назвал населением II.

Наоборот, звезды, располагавшиеся более разбросанно — особенно в спиральных ветвях галактик, — принадлежали в основном к другому типу, который он назвал населением I.

Звезды населения II, казалось, образовывали вокруг центра галактики своего рода сферический ореол, тогда как звезды населения I распределялись по средней плоскости галактики в виде диска с отверстием в середине. Их можно соответственно называть звездами сферической составляющей и звездами плоской составляющей.

В целом звезды населения II склонны к чинности и единообразию. Они обладают размерами от средних до малых и занимают в пространстве области, относительно свободные от пыли и газа. Население же I насчитывает немало довольно-таки странных членов, и вообще для него характерно большое разнообразие — оно включает, в частности, звезды-гиганты, гораздо более яркие и горячие, чем любые звезды населения II. Кроме того, звезды населения I занимают области пространства, относительно богатые пылью и газом.

Это разделение звезд на два населения (с тех пор усложнившееся, так как и население I и население II распались на несколько подтипов) привело к возникно-

вению новых вопросов, касающихся эволюции галактик. Новые сведения о природе ядерных реакции в недрах звезд давали основания полагать, что большие звезды живут меньше, чем маленькие, и поэтому звезды населения I следовало считать недолговечными. Более подробный анализ показал, что недолговечными должны быть и сами спиральные ветви, и до сих пор еще не выдвинуто ни одной удовлетворительной гипотезы, которая объясняла бы, почему столько галактик щеголяет такими ветвями, если они и в самом деле так недолговечны, как должны были бы быть.

Во всяком случае, росло убеждение, что спиральные ветви — явление временное и что галактики теряют их, становясь эллиптическими, а не наоборот. Хаббловская схема эволюции была вывернута наизнанку.

Предположим, что сначала звезды протогалактики образовывались без всякой системы и что самой ранней стадией была стадия неправильной галактики. В центре протогалактики, где концентрация пыли была наибольшей, звезды образовывались быстрее всего и в самых больших количествах. На каждую звезду приходился относительно небольшой запас пыли и газа, а потому звезды в центре были небольшими и сходными по свойствам. А с их образованием пыль и газ почти исчезли. Такие звезды относились бы к населению II — они были бы очень богаты водородом и почти лишены более тяжелых элементов.

Однако по краям протогалактики пыль и газ распределялись бы не так равномерно. Возможно, общее вращение заставляло пыль и газ вытягиваться полосами, так что звезды образовывались рядами в областях, которые стали свежающимися спиральными ветвями. Из-за неравномерного распределения пыли и газа в одном месте образовывалось много звезд, а в другом — мало. На долю некоторых доставалось чрезвычайно малое количество материала, на долю других — чрезвычайно большое. Поэтому они должны были сильно различаться по массе, и самые большие члены этого населения I стали бы яркими и горячими.

Кроме того, в спиральных ветвях осталось бы много пыли и газа, которые в таком отдалении от центра рас-

пределились бы по слишком большому пространству, чтобы послужить зародышем для звезды. В течение миллиардов лет они медленно сгущались бы, пока, наконец, не наступал бы момент, когда и они могли развиться в звезды. Кроме того, яркие горячие звезды населения I быстро эволюционировали бы, скоро достигали бы стадии гибели и вспыхивали бы как Сверхновые. Пыль и газ в спиральных ветвях обогащались бы гелием и более сложными атомами, так что те звезды населения I, которые развивались позднее — звезды второго поколения, — оказывались бы относительно бедны водородом и богаты более тяжелыми элементами.

Таким образом, первым этапом после исходной неправильной галактики была бы спиральная галактика со слабо закрученными ветвями.

Но спиральные ветви живут относительно недолго. Пыль и газ потребляются в процессе образования звезд. Самые яркие звезды умирают, и состав ветвей неуклонно меняется от населения I к населению II. По мере вращения галактики спиральные ветви начинают закручиваться все туже и все плотнее и плотнее охватывают ядро. Галактика переходит из класса Sc в класс Sb и затем в класс Sa.

Со временем спиральные ветви сливаются с ядром, полностью утратив звезды населения I, и образуется сплюснутая эллиптическая галактика. Постепенно, благодаря взаимному притяжению звезд, их движение в такой галактике становится все более и более однородным, сплюснутость уменьшается, и наконец возникает шаровидная галактика.

Согласно такому взгляду, галактика Андромеды и наша Галактика находятся не на поздних, а на ранних стадиях эволюции и оказываются довольно молодыми галактиками.

Схема эволюции галактик в обратном направлении подтверждается некоторыми наблюдениями. Она предполагает непрерывное уменьшение количества пыли и газа, содержащегося в галактиках (что представляется вполне логичным). Неправильные галактики, такие, как Магеллановы Облака, видимо, и в самом деле более богаты «межзвездным сором», чем наша бесспорно спи-



ральная Галактика, спиральные же галактики в свою очередь гораздо богаче пылью, чем эллиптические.

Для объяснения больших размеров многих шаровидных галактик можно выдвинуть следующее предположение: большие галактики (как и большие звезды) эволюционируют не медленнее, а быстрее. Самые большие галактики под влиянием особенно мощного поля тяготения могли быстрее сгуститься в звезды, быстрее образовать спиральные ветви во внешних областях, более насыщенных пылью, быстрее стянуть ветви к центру и превратиться в те гигантские шаровидные галактики, которые мы видим теперь. Галактики поменьше задержались на стадии спирали, а совсем маленькие надолго застряли на самой ранней стадии эволюционного процесса — на стадии неправильной галактики.

Кроме того, указывалась и такая возможность. эволюция в обычном смысле слова, когда галактика одного вида превращается в галактику другого вида, может и вовсе не происходить. Возможно, галактика, однажды обретя свою очерченную звездами форму, так ее и сохраняет, а различие между галактиками зависит исключительно от разницы между первоначальными протогалактиками, главным образом от разного момента количества движения.

Предположим, что у какой-то протогалактики момент количества движения очень мал. Она вращается медленно и почти, а то и совсем не сплющивается. Потеря вещества из-за действия центробежной силы будет чрезвычайно мала, и в результате такая протогалактика сохранил максимальные размеры. Возникающие звезды образуют огромную шаровидную галактику.

Если протогалактика обладает несколько большим моментом количества движения, то она будет вращаться быстрее, слегка сплющится, потеряет некоторое количество вещества экваториальной области и в конечном счете станет чуть меньшей по размерам и чуть более сплюсненной эллиптической галактикой.

Все изменения кончатся с образованием звезд, и в зависимости от величины момента количества движения к тому времени, когда образование звезд положит конец изменениям формы галактик, они достигнут разной сте-

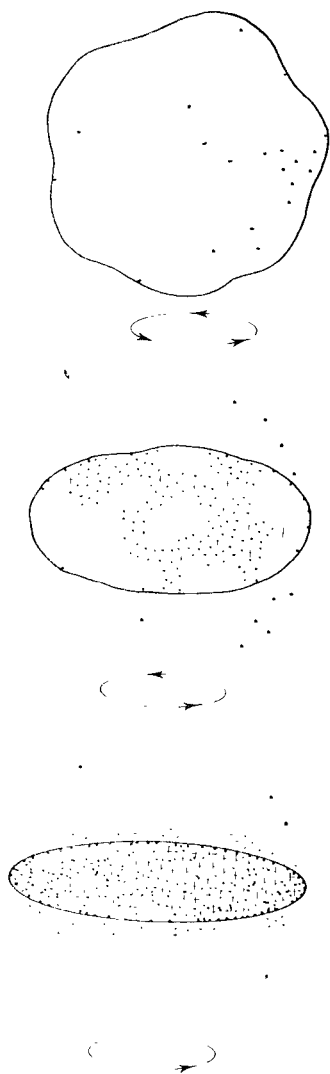


Рис 27 Образование звездных населений. *Точки* — население II, *крестики* — население I

пени сплюснутости. В среднем, чем более сплюснута галактика, тем она меньше.

Если момент количества движения протогалактики особенно велик, в действие вступает новый фактор. Звезды начнут образовываться, но процесс этот будет идти недостаточно быстро для того, чтобы поглотить всю пыль и газ прежде, чем стремительное вращение успеет сильно сплющить протогалактику. Короче говоря, газ и пыль сплющатся в диск, оставив на том месте, которое они занимали прежде, сферический или эллиптический ореол уже образовавшихся звезд. Эти звезды будут населением II.

Диск газа будет отброшен на самую окраину, весь газ соберется там, и внутри него образуются звезды населения I. Таким образом, возникновение спиральных галактик и звезд населения I целиком зависит от скорости вращения первоначальной протогалактики.

Но какую бы схему эволюции галактик мы не рассматривали — от протогалактики через шаровидную к спиральной, от протогалактики через спиральную к шаровидной или от протогалактики к спиральной или шаровидной, вопрос о возрасте галактик, а следовательно, и о возрасте Вселенной остается открытым.

Образовалась ли вся Вселенная из системы протогалактик, которые одновременно (примерно 15 миллиардов лет назад) начали развиваться в галактики? В этом случае всей Вселенной 15 миллиардов лет.

Или же какие-то части Вселенной начали развиваться в галактики в один момент, а другие — в другой? Может быть, возраст той части Вселенной, которая наиболее нам знакома, составляет 15 миллиардов лет, а другие ее части старше? Существуют ли какие-нибудь области недоступные для наших исследований, которые все еще находятся на стадии протогалактик и, следовательно, все еще не родились?

На такие вопросы нельзя ответить, рассматривая только эволюцию галактик. Нам следует подойти к проблеме с другой стороны.

# Удаляющиеся галактики

## *Красное смещение у галактик*

Решающий шаг в изучении галактик был сделан в 1912 г., когда они еще считались спиральными туманностями внутри нашей собственной звездной системы. Американский астроном Весто Мелвин Слайфер (род. в 1875 г.) определил лучевую скорость объекта, который назывался тогда туманностью Андромеды, и обнаружил, что эта туманность приближается к нам (линии ее спектра показывали фиолетовое смещение) со скоростью 200 км/сек.

Сам факт был интересен, но не выглядел необычным. Лучевая скорость больше 100 км/сек была велика, но не чрезмерна (Собственно говоря, теперь мы знаем, что часть этой скорости нельзя отнести за счет истинного приближения Андромеды. Вращение нашей Галактики в настоящее время несет солнечную систему в сторону Андромеды, а через несколько миллионов лет оно будет уносить нас от нее. Если учесть это вращение и определять движение галактики Андромеды по отношению к центру нашей Галактики, то окажется, что она все-таки приближается к нам, но со скоростью примерно 50 км/сек )

К 1917 г. ситуация стала несколько более загадочной. За это время Слайфер измерил лучевые скорости 15 спиральных туманностей. Согласно теории вероятности, можно было бы предположить, что половина из них будет приближаться к нам, а половина — удаляться. Вместо этого приближались только 2, а удалялись 13. Правда, ничего невозможного в этом, хотя и несколько неожиданном, факте не было. Если подбросить 15 монет, то можно ожидать, что орел и решка выпадут примерно в

равном количестве, но случайность — это случайность, и вполне возможно, что выпадут 2 решки и 13 орлов.

Гораздо более непонятной была огромная величина лучевых скоростей. Те туманности, которые удалялись от нас, удалялись со средней скоростью 640 км/сек. А если с 200 км/сек еще можно было смириться, то принять значение скорости 640 км/сек было крайне трудно. Эта цифра была гораздо больше лучевых скоростей обычных звезд Галактики.

Чем у большего количества спиральных туманностей измерял Слайфер лучевую скорость, тем более странной становилась ситуация. Каждое новое измерение говорило об удалении, и невероятные скорости этого удаления все возрастали.

Когда в середине 20-х годов Хаббл доказал, что объекты, наблюдаемые Слайфером, — на самом деле галактики, находящиеся далеко за пределами нашего Млечного Пути, это несколько упростило проблему. Если бы один-единственный класс объектов, составляющих нашу Галактику, показывал столь большие лучевые скорости удаления, тогда как все остальные объекты имели малые скорости и нередко приближались к нам, это выглядело бы совершенной бессмыслицей. Но если эти объекты с необычными скоростями, кроме того, находились и на необычных расстояниях — это облегчало положение. Если у одного и того же объекта есть два необычных свойства, они могут быть связаны между собой и одно может содействовать объяснению другого.

Теперь изучением лучевых скоростей галактик занялся еще один американский астроном — Милтон Ласалль Хьюмассон (род в 1891 г.). Он начал делать фотографии с выдержкой в несколько суток, и ему удавалось получить спектры все более и более слабых галактик, и среди этих слабых галактик он обнаружил скорости удаления, по сравнению с которыми первые полученные результаты показались чрезвычайно скромными. В 1928 г. он измерил лучевую скорость галактики NGC 7619 и получил скорость 3800 км/сек. А к 1940 г. он уже обнаружил скорости в 40 000 км/сек, т. е. больше  $\frac{1}{8}$  скорости света, — и это неизменно были скорости удаления.

Эти цифры были столь чудовищны, что астрономы усомнились в природе красного смещения (она и теперь еще ставится под сомнение). Должно ли красное смещение обязательно означать, что источник света удаляется? Или существует какое-то другое объяснение, которое позволит нам не признавать эти огромные скорости?

Возможно, например, что свет дальних галактик попросту становится краснее в результате своего неимоверно долгого путешествия через разреженный газ межгалактического пространства. Разумеется, это возможно. Но такое покраснение свега — совсем не то же самое, что красное смещение. Постепенное рассеяние лишит спектр коротких волн, и цвет туманности станет в целом более красным, но спектральные линии от этого не сместятся. А термин «красное смещение» подразумевает именно смещение спектральных линий, а не цвет вообще.

Иногда выдвигается предположение, что свет на своем бесконечном, ни с чем не сравнимом пути от галактики к галактике каким-то образом теряет энергию. Если же свет теряет энергию, эта потеря должна выражаться в удлинении волн, и при этом можно ожидать настоящего красного смещения. А нам кажется, будто галактики удаляются от нас с невероятными скоростями, потому лишь, что мы изучаем свет, который можно назвать «уставым светом».

Однако это объяснение ничего не объясняет, так как до сих пор еще никто не указал, каким образом могла бы произойти такая потеря энергии. Не существует ни каких известных причин, чтобы свет вдруг стал терять энергию только потому, что он долгое время движется через пустоту. А если бы он действительно терял таким образом энергию, никто не предложил разумного объяснения, что случается с этой энергией. Кроме того, если бы свет «уставал» на длинных расстояниях, он должен был бы слегка уставать и на коротких. Судя по размерам галактического красного смещения, красное смещение должно было бы сказаться и на объектах, расположенных к нам ближе, чем галактики. Однако никто его не обнаружил.

Короче говоря, до сих пор для красного смещения существует только одно объяснение — галактики удаляются

от нас. Никакое другое осмысленное объяснение не может охватить все факты. И до тех пор, пока другое объяснение не будет найдено, астрономам остается только считать стремительное удаление галактик признанным фактом.

Хаббл, работавший параллельно с Хьюмасоном, естественно, заинтересовался удалением галактик. Он не дантично оценивал расстояния до галактик всеми возможными способами. Для ближайших галактик он использовал цефеиды (см. стр. 115). Для тех, в которых из-за дальности расстояния обнаружить цефеиды было невозможно, он использовал любые звезды, которые мог различить, исходя при этом из предпосылки, что это сверхгиганты, такие же яркие, как  $\alpha$  Золотой Рыбы. Если галактики были так далеки, что не удавалось различить ни одной звезды, он исходил из предположения, что в среднем общая светимость галактик примерно равна и что, следовательно, чем слабее галактика, тем она дальше. Естественно, при этом учитывался закон обратных квадратов. Если одна галактика была вчетверо слабее другой, значит, она находилась вдвое дальше. Если же она была слабее в девять раз, то находилась в три раза дальше, и т. д.

Произведя все эти оценки расстояний, Хаббл затем воспользовался определением скоростей, проведенным Слайфером и Хьюмасоном, и доказал, что в среднем скорость удаления галактик возрастает пропорционально расстоянию, на котором эти галактики от нас находятся. Если одна галактика вдвое дальше от нас, чем другая, то она и удаляется вдвое быстрее. Если она в три раза дальше, то и скорость ее удаления втрое больше. Это так называемый закон Хаббла.

Наиболее странную черту закона Хаббла — закона о том, что скорость удаления галактики прямо пропорциональна ее расстоянию от нас, — можно выразить простым вопросом. «Почему именно от нас?»

Какие, собственно, заключены в нас магические свойства, заставляющие галактики, так сказать, опрометью бежать от нас, и откуда галактика «знает», на каком расстоянии от нас она находится, дабы соответственно увеличивать свою скорость?

К счастью, объяснение взаимосвязи между скоростью удаления и расстоянием, кроме того, одновременно объясняет, почему это расстояние именно от нас.

Объяснение это было подсказано новым взглядом на Вселенную, который предложил Эйнштейн.

## **Относительность**

Этот взгляд содержался в общей теории относительности Эйнштейна, которую он опубликовал в 1915 г. Опираясь на нее, Эйнштейн разработал уравнения поля тяготения, которые описывали общие свойства Вселенной. При этом он исходил из предпосылки, что, хотя в некоторых местах Вселенной существуют сгущения вещества (планеты, звезды, галактики), ее все же можно изучить с достаточной точностью, если считать, что вся она заполнена веществом, иначе говоря, что вещество, реально имеющееся во Вселенной, распределено в ней равномерно. (Точно так же в древности, несмотря на все несомненно имеющиеся на поверхности Земли выпуклости и неровности, люди исходили из предпосылки, что все эти неровности в сущности не имеют значения и можно считать, будто они распределены равномерно, а потому мир можно считать плоским. Так же поступаем в настоящее время и мы, но считаем Землю шаром.)

Эйнштейн, далее, исходил из предпосылки, что свойства Вселенной в общем одинаковы повсюду. Если принять это положение, то число геометрических форм, которыми может обладать Вселенная, окажется весьма ограниченным. Для того чтобы понять, почему это так, проведем аналогию с поверхностью Земли.

В каком бы месте Земли мы ни находились, наши ощущения в общем остаются одними и теми же. Направления вверх и вниз остаются прежними, сила тяготения практически одинакова, горизонт всегда находится от нас на одном и том же расстоянии, одинаковом во всех направлениях (если, конечно, не учитывать местных неровностей и считать, что вещество распределено по поверхности равномерно).

Для того чтобы эти свойства Земли были повсюду одинаковы, она должна обладать одной из трех возмож-



ных форм поверхности: плоской, сферической или же менее знакомой нам формой, которая называется псевдосферической. В древности человек считал поверхность Земли плоской, потому что так было проще всего, но впоследствии результаты наблюдений заставили его признать ее сферической<sup>1)</sup>.

Выбор для Земли сферической поверхности имел важные геометрические последствия. Из всех трех только сферическая поверхность конечна. Прямая линия, проведенная на плоской поверхности, или эквивалент прямой линии на псевдосферической поверхности окажутся бесконечными. Однако эквивалент прямой линии на сферической поверхности оказывается замкнутой кривой. Иначе говоря, если вы пойдете по экватору, скажем, на восток, то рано или поздно вернетесь к исходной точке, хотя ни разу не свернете с избранного направления. И вы можете ходить так вечно, не достигнув какого-нибудь «конца Земли», — вы будете только вновь и вновь повторять пройденный путь. Поверхность сферы конечна, но не имеет границ.

Тот же подход можно применить и к Вселенной в целом, с той только разницей, что тут мы имеем дело не с поверхностью, а с объемом, а потому все это гораздо труднее себе представить.

Представим себе тем не менее луч света, пересекающий Вселенную. Нам кажется, что луч света, пронизывающий абсолютную пустоту и не встречающий на своем пути никаких полей энергии, которые могли бы ему помешать, должен вечно двигаться по абсолютно прямой линии, с постоянной скоростью удаляясь от своего источника. Это равносильно утверждению, что Вселенная обладает свойствами, которые можно описать с помощью евклидовой геометрии. Мы могли бы назвать ее «плоской Вселенной», хотя речь идет об объеме, а не о пространстве.

Но действительно ли Вселенная является евклидовой, или это лишь иллюзия, возникающая потому, что мы видим ничтожную ее часть? Ведь небольшой участок

---

<sup>1)</sup> Разумеется, Земля — не точный шар, а потому такие свойства, как, например, сила тяготения на ее поверхности, чуть чуть меняются в зависимости от места наблюдения.

земной поверхности тоже кажется нам плоским, и только путем очень точных измерений мы можем установить, что на самом деле эта поверхность чуть-чуть выгибается во всех направлениях.

Однако если Вселенная не является евклидовой, то какова же она? Если исходить из предположения, что ее общие свойства с точки зрения поведения луча повсюду одинаковы, то перед нами встает такой же выбор, как и для поверхности Земли. Кроме «плоской Вселенной», возможны еще две формы, две разновидности неевклидовой Вселенной.

Луч света может двигаться по огромной окружности так, словно он перемещается по поверхности огромного шара. В этом случае геометрия Вселенной соответствовала бы геометрии, впервые описанной в 1854 г. немецким математиком Георгом Фридрихом Бернгардом Риманом (1826—1866)<sup>1)</sup>. Риманову Вселенную нельзя рассматривать как просто сферическую Вселенную. Она гораздо сложнее. В ней само трехмерное пространство изгибается во всех направлениях с постоянной кривизной. Такая Вселенная представляет собой четырехмерное подобие сферы, гиперсферу — нечто такое, что нам чрезвычайно трудно изобразить или вообразить, так как мы привыкли мыслить трехмерными понятиями.

Кроме того, луч света может двигаться так, словно он во всех направлениях следует псевдосферической поверхности. В этом случае геометрия Вселенной соответствовала бы системе, которую впервые описал в 1829 г. русский математик Николай Иванович Лобачевский (1793—1856).

Риманова Вселенная отличается от Вселенных Евклида и Лобачевского тем, что она конечна. Луч света, движущийся через риманову Вселенную, изгибается и описывает замкнутую кривую. Он может двигаться вечно, но лишь без конца повторяя свой путь, подобно зем-

---

<sup>1)</sup> Здесь речь идет о римановой геометрии в узком смысле слова — геометрической системе, в которой «прямые» линии имеют конечную длину, а прямых, параллельных данной, вообще не существует. В основу теории Эйнштейна положена риманова геометрия в широком смысле слова — система, в которой геометрические свойства определяются действующими силами — *Прим. ред.*

ному экватору Следовательно, риманова Вселенная конечна, но не имеет границ

Что же выбрать из этих трех возможностей? Если бы мы могли заставить луч света пробежать достаточно большое расстояние, то, может быть, нам удалось бы увидеть, распространяется ли он прямолинейно или отклоняется от прямой так, как это описали Риман или Лобачевский Однако наша Вселенная отличается от евклидовой столь незначительно (если отличается вообще), что луч необходимой длины было бы трудно изучать Хуже того наша проверка прямизны была бы сильно затруднена тем фактом, что критерием прямизны для нас является сам световой луч Если у нас есть длинная измерительная линейка и мы хотим знать, прямая она или нет, мы подносим ее одним концом к глазу и смотрим вдоль нее Если она не прямая, то мы видим, что она прогибается ниже луча зрения, или горбится над ним, или изгибается в сторону — нам нетрудно заметить даже небольшие отклонения от прямой линии. Но в этом случае мы исходим из убеждения, что луч света движется по абсолютно прямой линии Наше убеждение в прямизне световых лучей настолько сильно, что, когда свет отражается или преломляется, наше зрение отказывается принять нарушение его прямизны Мы видим себя за стеклом зеркала, мы видим, что палка сломана там, где она пересекает поверхность воды.

Поэтому при выборе между возможными формами Вселенной приходится полагаться на гораздо более косвенные признаки. Эйнштейн избрал риманову Вселенную и к 1917 г разработал вытекающие отсюда следствия, стараясь обнаружить те явления, которые должны были значительно отличаться от подобных явлений во Вселенных Евклида и Лобачевского. (Это можно считать началом современной научной космологии) Например, он доказал, что в римановой Вселенной<sup>1)</sup> свет, двигаясь против поля тяготения, будет терять часть своей энергии, и это предсказанное Эйнштейном смещение было обнаружено в излучении Сириуса В (см стр. 193) Он

---

<sup>1)</sup> Здесь речь идет о римановой геометрии в широком смысле слова См примечание из предыдущей страницы *Прим. ред*

предсказал также, что лучи должны изгибаться, проходя вблизи тел, обладающих большой массой, и в случае, когда свет звезд будет проходить вблизи Солнца, их видимое положение чуть-чуть изменится. Положение звезд, видимых возле Солнца, было измерено во время полного затмения 1919 г., а затем его сравнили с их положением в те периоды, когда Солнца вблизи не было, и вновь предсказание Эйнштейна сбылось. Эйнштейновская общая теория относительности подтверждалась при всех проверках. Не было ни одного наблюдения, которое дало бы явно противоречащие ей результаты. И теперь среди астрономов принято считать, что Вселенная в целом подчиняется римановой геометрии, но столь мало отличной от евклидовой, что при обычных обстоятельствах евклидова геометрия дает достаточно точные результаты.

Эйнштейн парисовал картину статичной, не испытывающей всеобъемлющих изменений римановой Вселенной<sup>1)</sup>. Отдельные составляющие ее части могли перемещаться, но общая плотность вещества, если распределить ее равномерно, оставалась одинаковой. Поскольку, согласно точке зрения Эйнштейна, кривизна Вселенной (т. е. качество, которое делало ее римановой) зависела от плотности вещества в ней, то луч света, не встречающий на своем пути помех, должен был двигаться точно по окружности.

Однако в 1917 г. голландский астроном Виллем де Ситтер (1872—1934), который одним из первых признал теорию относительности, предложил иную модель Вселенной, которая также отвечала бы уравнениям поля Эйнштейна. Это была пустая и постоянно расширяющаяся Вселенная, вследствие чего кривизна пространства должна была непрерывно уменьшаться; такая Вселенная была бы римановой, но все более и более приближалась бы к евклидовой (и стала бы вполне евклидовой, когда расширение стало бы бесконечным). Луч света в модели Вселенной де Ситтера двигался бы не по окружности, а по непрерывно расширяющейся спирали.

---

<sup>1)</sup> Здесь же речь идет о римановой геометрии в узком смысле слова. Эйнштейн считал, что модель конечной в пространстве Вселенной лучше отображает реальность — *Прим. ред*

Предположим, далее, что мы поместили (разумеется, мысленно) в расширяющуюся Вселенную де Ситтера две частицы. Эти две частицы немедленно начали бы расходиться и продолжали бы расходиться по мере того, как пространство между ними расширялось бы.

Если бы в подобной Вселенной было рассеяно большое количество частиц, общее расширение Вселенной увеличивало бы расстояние от любой из них до любой другой. Если бы расстояние между данной частицей и ее ближайшей соседкой вначале составляло бы один световой год, то через некоторое время это расстояние возросло бы до двух световых лет, затем до трех и т. д.

Предположим теперь, что на одной из этих частиц находится наблюдатель, который следит за всеми остальными частицами. В каком-то одном направлении он видел бы частицу, отделенную от него расстоянием в 1 световой год. За ней была бы частица, расстояние до которой равнялось бы 2 световым годам, за ней еще одна — в 3 световых года и т. д. Через 100 лет расстояние между двумя любыми соседними частицами увеличилось бы, скажем, до 2 световых лет. Тогда наблюдатель, стоящий на своей частице и смотрящий в прежнем направлении, увидел бы ближайшую частицу на расстоянии в 2 световых года, следующую — на расстоянии в 4 световых года, еще следующую — в 6 световых лет и т. д.

В этом случае расстояние до ближайшей частицы возросло бы с 1 светового года до 2 световых лет и скорость ее удаления составила бы 1 световой год за 100 лет. Расстояние до второй частицы возросло бы с 2 световых лет до 4 световых лет, и скорость ее удаления составила бы 2 световых года за 100 лет. Расстояние до третьей частицы возросло бы с 3 световых лет до 6 световых лет, и скорость ее удаления составила бы 3 световых года за 100 лет.

Таким образом, все частицы, которые вы видели бы в данном направлении, удалялись бы от вас со скоростью, прямо пропорциональной расстоянию от них. И это правило остается верным независимо от того, в каком именно направлении мы посмотрим. Придает ли это вашей частице какие-то особые свойства? Вовсе нет. Не имеет ни малейшего значения, на какой именно частице вы на-

ходиться. Каждая независимая частица такой Вселенной удаляется от каждой другой частицы со скоростью, прямо пропорциональной расстоянию, разделяющему обе рассматриваемые частицы.

Расширяющаяся Вселенная де Ситтера с теоретической точки зрения представляется много совершеннее статической Вселенной Эйнштейна. И в 1930 г. Эддингтону удалось доказать, что даже если бы статическая Вселенная Эйнштейна действительно существовала, она была бы неустойчива, как конус, поставленный на острие. Если бы по какой-то причине она начала хоть чуточку расширяться, то продолжала бы расширяться вечно, а если бы она начала сжиматься, то продолжала бы вечно сжиматься <sup>1)</sup>

### Скопления галактик

Таким образом, по видимому, закон Хаббла с помощью фактов, обнаруженных в реальной Вселенной, подтверждает существование теоретически предсказанной расширяющейся Вселенной де Ситтера. Галактики удаляются друг от друга не потому, что движется каждая из них в отдельности, а потому, что все пространство расширяется. Именно из-за этого расширения скорость, с которой удаляется каждая отдельная галактика, прямо пропорциональна ее расстоянию от нас. И впечатление, что наша Галактика находится в центральной точке, от куда все удаляется, возникает только потому, что мы наблюдаем Вселенную именно с этой точки. Если бы мы находились в галактике Андромеды или в любой другой галактике, картина, которую мы наблюдали бы, была бы той же самой. Та галактика, в которой мы находились бы, всегда казалась бы нам центральной галактикой.

Конечно, можно было бы сказать, что если Вселенная на самом деле расширяется, то каждая без исключения галактика должна была бы удаляться от любой другой галактики — а это почти верно, но не совсем верно. Но

---

<sup>1)</sup> Решение уравнений Эйнштейна, описывающее расширяющуюся Вселенную (как бесконечную, так и замкнутую), первым получил замечательный русский ученый А. А. Фридман (1888—1925) — *Прим. ред.*

«почти верно» не стоит ничего. Например, галактика Андромеды не удаляется от нас, а приближается. Правда, приближается она очень медленно, но приближается. А это, на первый взгляд, опровергает все представления о расширяющейся Вселенной.

Но это отнюдь не так. Описывая модель Вселенной, поневоле приходится ее упрощать, иначе сложности будут столь велики, что их уже не удастся ни проанализировать, ни описать. Модель де Ситтера, например, строится на предположении, что частицы никак не воздействуют друг на друга, а покорно подчиняются расширению Вселенной.

На самом же деле это не соответствует действительности. Во Вселенной существуют силы, которые способны действовать через гигантские пространства, если только в этих пространствах имеется вещество. Есть два вида таких дальнедействующих сил — электромагнитные поля и поля тяготения. Электромагнитное поле порождает силы двух видов — притяжение и отталкивание, которые в больших масштабах обычно уравнивают друг друга. Поэтому для Вселенной в целом электромагнитное поле мы можем игнорировать.

Но этого нельзя сказать о поле тяготения. Оно порождает только одну силу — силу притяжения. Два любых объекта во Вселенной, даже в расширяющейся Вселенной, притягивают друг друга<sup>1)</sup>. Чем ближе эти два объекта, тем сильнее притяжение между ними и тем больше вероятность, что они, так сказать, будут лхнуть друг к другу вопреки разлучающему воздействию расширяющейся Вселенной.

Расширяющаяся Вселенная не разлучает друг с другом, например, компоненты солнечной системы или звезды внутри одной галактики. Ее действия недостаточно чтобы разделить две или более галактики, которые расположены настолько близко друг к другу, что оказываются достаточно прочно связанными полем взаимного тяготения.

---

<sup>1)</sup> Для некоторых особых случаев это положение неверно. Например, если один из объектов — полая сфера, а другой находится внутри первого. Но для астрономии подобные случаи не имеют значения.

Короче говоря, «независимые частицы», удаляющиеся друг от друга в теоретической расширяющейся Вселенной, в реальной Вселенной вовсе не обязательно представляют собой отдельные галактики — это отдельные группы или скопления галактик.

Такие скопления галактик, несомненно, существуют. В ряде случаев две или более галактики явно взаимодействуют между собой, окружены общим ореолом или соединены светящимися волокнами.

Такое взаимодействие может быть следствием тяготения или электромагнитных сил, но само взаимодействие в каждом случае бесспорно, и с точки зрения Вселенной вполне логично рассматривать такое скопление галактик как единое целое.

У нашей собственной Галактики есть два Магеллановых Облака — несомненные спутники Галактики, которые нами надежно захвачены и с которыми мы вряд ли будем разлучены расширяющейся Вселенной. Точно так же галактика Андромеды (М 31) имеет в качестве спутников две небольшие галактики (М 32 и М 33).

Собственно говоря, галактику Андромеды и нашу собственную Галактику можно считать двумя гигантскими членами одной группы, насчитывающей свыше двух десятков членов. Это так называемая Местная Группа, и, без сомнения, ее единство устоит против воздействия расширяющейся Вселенной по крайней мере очень долго.

Движение галактик — членов Местной Группы относительно друг друга отражает не общее расширение Вселенной, а только действие местных сил тяготения. Именно поэтому галактика Андромеды в настоящее время и приближается к нам.

В небе можно увидеть сотни скоплений галактик. Это, бесспорно, скопления, так как отдельные их члены расположены очень близко друг к другу, а самые большие члены имеют одинаковую светимость. Некоторые из таких скоплений колоссальны.

В созвездии Волосы Вероники есть скопление, которое состоит примерно из 10 000 отдельных галактик.

Такие скопления очень полезны для оценки расстояний. Если изучать галактики по отдельности, то предположение, что различие в их яркости определяется только



расстоянием, может привести к грубым ошибкам. Существуют галактики-гиганты и галактики-карлики, точно так же как звезды-гиганты и звезды-карлики. Галактика Андромеды и две ее галактики-спутники находятся от нас на одинаковом расстоянии, и все же Андромеда намного

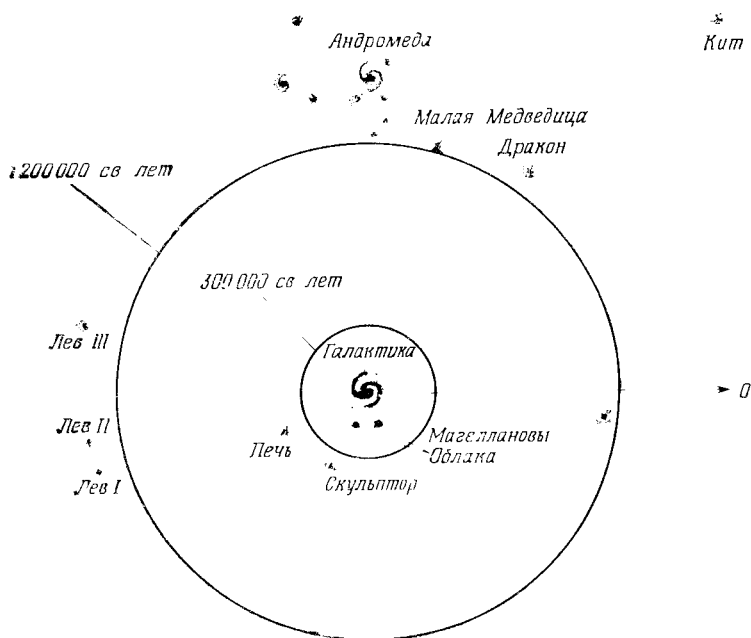


Рис 28 Местная Группа

ярче остальных двух только потому, что она — гигант, а они — карлики.

Разумеется, можно сказать, что такие различия в размерах уравниваются и что со щедрой статистической точки зрения малую яркость галактики можно всегда связывать с большим расстоянием. Это верно. Но такое обязательное сопоставление яркости и расстояния в отдельном конкретном случае может привести к искажению результатов

Однако имея дело со скоплениями, можно считать, что наиболее яркие их члены — это гигантские галактики, сходные с Андромедой и с нашей Галактикой, и что светимость их соответствует абсолютной величине —19 или —20. Конечно, остается возможность существования и различия между скоплениями, но, по мнению астрономов, такие различия намного меньше, чем различия между отдельными галактиками.

Поэтому астрономы чувствуют себя гораздо увереннее, оценивая расстояния до скопления галактик по его яркости, а затем сопоставляя полученное расстояние с величиной красного смещения, чтобы проверить, подтверждается ли закон Хаббла (он подтверждается). Согласно оценке, проведенной этим методом, скопление галактик в созвездии Девы находится от нас почти в 20 раз дальше, чем галактика Андромеды, а расстояния до других скоплений в тысячи раз больше, чем до Андромеды.

## Глава 14

# Наблюдаемая Вселенная

### *Снова парадокс Ольберса*

Масштабы Вселенной столь велики, что по сравнению с ними кажутся крохотными даже первые найденные расстояния до ближайших галактик, вроде галактики Андромеды. Когда впервые было определено расстояние до галактики Андромеды и в моду вошли выражения вроде «сотни тысяч световых лет», считалось, что это почти превосходит человеческое воображение. Однако через десять лет стало очевидно, что Андромеда расположена совсем рядом с нами. Как я уже говорил, она входит в Местную Группу и является членом той же системы, что и мы.

И снова встает вопрос: где же конец? Все снова и снова человеку приходится расширять свои представления, учиться воспринимать все большие и большие масштабы. Маленькие несветящиеся тела группируются вокруг звезды, образуя планетную систему. Звезды группируются, образуя простые кратные системы, или еще большие рассеянные скопления, или даже еще большие шаровые скопления и галактики, даже еще большие, чем эти последние. Галактики объединяются в группы галактик. Не объединяются ли и эти последние в скопления галактик? Вокулер полагает, что это именно так и что, судя по некоторым признакам, существует Сверхгалактика, в которую наша Местная Группа входит как ничтожная ее часть. Если его выводы верны, то мы находимся в десятках миллионов световых лет от центра такой Сверхгалактики, а за ее пределами во всех направлениях расположены другие сверхгалактики.

А не могут ли существовать и скопления сверхгалактик, и скопления скоплений сверхгалактик, и т. д.? Где

находится конец? И есть ли вообще конец? Может быть, перед нами простирается безграничная Вселенная?

Если принять эйнштейновскую теорию относительности, то его риманова Вселенная должна иметь конечный объем. Даже если она расширяется, этот конечный объем, непрерывно увеличиваясь, все же остается конечным.

Иногда выдвигается предположение, что, даже обладая конечным объемом, Вселенная может тем не менее включать в себя бесконечное число галактик. Если это так, то система скоплений скоплений скоплений (и т. д.) галактик может усложняться все больше и больше — до бесконечности.

Но принимая возможность существования бесконечного числа галактик, не столкнемся ли мы вновь с парадоксом Ольберса (см. стр. 57)? Если число галактик во всех направлениях бесконечно, то не будут ли они посылать Земле бесконечное количество света? А раз Земля не получает бесконечного количества света, то не значит ли это, что число галактик конечно?

Если бы риманова Вселенная была статичной, как сперва предположил Эйнштейн, мы должны были бы считать число галактик конечным. Для такой статичной Вселенной довод, который я приведу ниже в доказательство возможности существования бесконечного числа галактик, окажется несостоятельным. В такой Вселенной и объем, и число галактик по необходимости должны быть ограничены и парадокс Ольберса не создает никаких трудностей.

Однако мы, по-видимому, живем в расширяющейся Вселенной, а для такой Вселенной оказывается вполне в силе довод в пользу бесконечного числа галактик. Но как же тогда быть? Каким способом можем мы обойти парадокс Ольберса?

В расширяющейся Вселенной, где все галактики непрерывно удаляются друг от друга, вступает в действие совершенно новый фактор, который нельзя не учитывать. Его не существовало бы, если бы Вселенная была статичной и расстояния между галактиками в среднем оставались бы неизменными. Этот новый фактор — красное смещение.

В расширяющейся Вселенной свет галактик «стареет» и ослабевает. Чем дальше от нас галактика, тем сильнее красное смещение и тем больше ослабление достигающей нас суммарной энергии ее излучения.

А раз излучение, приходящее к нам со все больших и больших расстояний, становится все слабее и слабее,

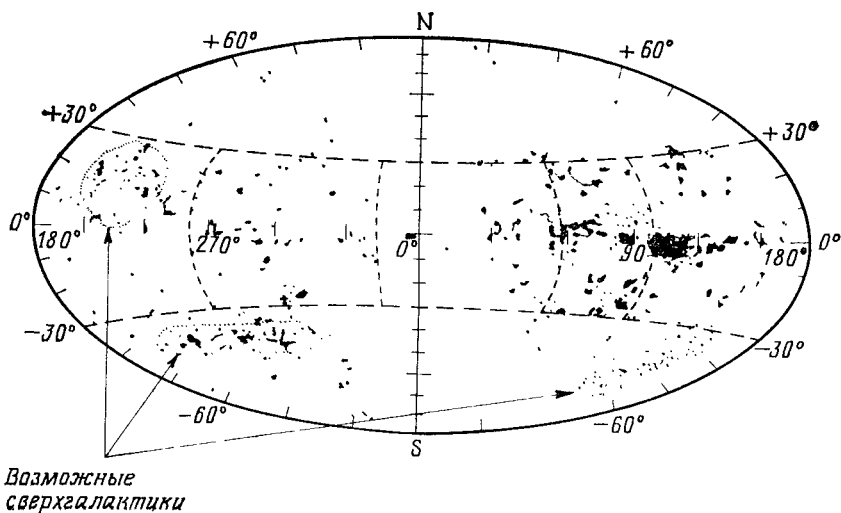


Рис 29 Сверхгалактики

то общая сумма излучения, достигающего Земли, должна быть конечной и притом не очень большой, даже если число галактик бесконечно. Если Вселенная расширяется, то парадокс Ольберса уже не противоречит существованию в ней бесконечного числа галактик.

Это может показаться невозможным. Вы можете подумать, что если каждая из бесчисленных галактик дает хотя бы ничтожное излучение, то, как бы мало оно ни было, суммарное излучение должно оказаться бесконечным. Это предположение иначе можно выразить так: сумма бесконечного ряда чисел, как бы малы ни были отдельные числа, должна быть бесконечной.

Звучит как будто логично, но тем не менее такое рассуждение ошибочно, и это нетрудно доказать.

Рассмотрим следующий ряд чисел  $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \frac{1}{16}, \frac{1}{32}, \frac{1}{64}, \dots$ . Каждое число равно половине предыдущего, а число членов этого ряда бесконечно. Как бы далеко он ни простирался, его всегда можно удлинить, прибавив половину последнего из написанных чисел, а затем половину этой половины, половину последней половины и так далее до бесконечности.

Может показаться, что сумма такого бесконечного ряда чисел должна быть бесконечной, но попробуйте сложить их. Первое число равно 1, сумма двух первых чисел составляет  $1\frac{1}{2}$ , сумма первых трех  $1\frac{3}{4}$ , сумма первых четырех  $1\frac{7}{8}$ . Продолжая сложение, вы скоро убедитесь, что, хотя по мере прибавления новых членов сумма непрерывно увеличивается, она никогда не достигнет 2. Она все более и более приближается к 2, но так и не достигает этой цифры. Итак, сумма ряда  $1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \dots$  стремится к 2. Это пример сходящегося ряда, т. е. ряда с бесконечным количеством членов, но конечной суммой.

Излагая парадокс Ольберса в первый раз, я указывал, что в бесконечной Вселенной того типа, о каком говорил Ольберс, каждый слой пространства дает Земле равное количество света. Если свет одного слоя принять за 1, то свет всех слоев будет равен  $1 + 1 + 1 + \dots$  и так далее до бесконечности. Это расходящийся ряд, и его сумма, несомненно, бесконечна. Именно бесконечность этой суммы и составляет суть парадокса.

Однако с учетом красного смещения каждый слой, лежащий дальше от нас, будет давать меньше света, чем предыдущий.

Если составить такой ряд, он оказывается сходящимся и сумма его конечна. Поэтому во Вселенной Эйнштейна — Римана (все равно статичной или расширяющейся) мы можем забыть о парадоксе Ольберса. Он ничему не мешает.

Но тут возникает новая проблема. Если мы будем учитывать красное смещение, а следовательно, и все большее ослабление энергии достигающего нас излучения все более далеких галактик, нам придется задать вопрос не о том, как велика Вселенная, а о том, какую ее часть мы можем наблюдать.

Человек считал бесспорным, что, совершенствуя свои инструменты и улучшая методы, создавая еще более мощные телескопы, еще более точные спектрографы, еще более чувствительные фотопластинки, он сможет заглядывать все дальше и дальше в пространство. Но так ли это? Если излучение далеких галактик становится все слабее и слабее, то не ослабеет ли оно в конце концов настолько, что никакой, даже самый совершенный инструмент уже не сможет его уловить?

Если это так, то размеры Вселенной, которую мы можем наблюдать, принципиально конечны: существует какая-то внешняя граница, заглянуть за которую для нас невозможно. Эта граница охватывает то, что можно назвать наблюдаемой Вселенной.

Для того чтобы узнать, существует ли в действительности такой непреодолимый предел и как далеко он может находиться, нам следует вернуться к закону Хаббла.

### **Постоянная Хаббла**

Закон Хаббла гласит, что скорость удаления галактики прямо пропорциональна ее расстоянию от нас. Это означает, что, умножив ее расстояние от нас на определенный коэффициент (называемый постоянной Хаббла), мы получим скорость ее удаления.

Предположим, что мы выразим это расстояние в миллионах световых лет и обозначим его  $D$ . Скорость удаления мы выразим в километрах в секунду и обозначим ее  $V$ . Постоянную Хаббла мы обозначим через  $k$ . Теперь мы можем выразить закон Хаббла так

$$V = kD.$$

Для нас важно значение  $k$ , а потому мы после простейшего преобразования напомним эту формулу так

$$k = \frac{V}{D},$$

откуда следует, что  $k$  равно скорости удаления какой-либо галактики (в км/сек), деленной на ее расстояние в миллионах световых лет. Располагая надежными цифрами и для расстояния, и для скорости удаления какой-

нибудь отдаленной галактики или группы галактик, мы можем вычислить величину  $k$ , и эта величина, если Хаббл не ошибался, будет верна для любой галактики

Рассмотрим, например, скопление в созвездии Девы. Красное смещение в спектрах его членов показывает, что оно удаляется от нас со скоростью 1140 км/сек. Сравнение яркости наиболее ярких его галактик с блеском галактики Андромеды показывает, что это скопление находится в 16,5 раз дальше от нас, чем галактика Андромеды. Если расстояние до галактики Андромеды составляет 800 000 световых лет (согласно соотношению период — светимость у цефеид, см стр. 74), то скопление Девы должно находиться от нас на расстоянии в  $16,5 \times 800\,000$  или примерно в 13 000 000 световых лет.

Чтобы получить величину  $k$ , мы должны разделить скорость удаления скопления Девы в км/сек на расстояние до нее в миллионах световых лет. Получается, что  $k = 1140 : 13$ , т. е. примерно 88.

Следовательно, мы можем ожидать, что галактика, находящаяся от нас на расстоянии в 1 000 000 световых лет, будет удаляться со скоростью 88 км/сек; галактика, находящаяся на расстоянии в 2 000 000 световых лет, будет удаляться со скоростью 176 км/сек; галактика, находящаяся на расстоянии в 10 000 000 световых лет, — со скоростью 880 км/сек и т. д.

Существует ли какой-нибудь предел для роста скоростей удаления, если считать, что закон Хаббла одинаково верен для всех расстояний? Говоря математически, такого предела нет. Галактика, находящаяся от нас в 1000 миллионов световых лет, должна удаляться со скоростью 88 000 км/сек, а на расстоянии в 1 000 000 миллионов световых лет — со скоростью 88 000 000 км/сек и т. д.

С физической же точки зрения такой предел должен существовать. Эйнштейновская специальная теория относительности, выдвинутая им в 1905 г., за десять лет до более всеобъемлющей общей теории относительности, исходит из непреложной предпосылки, что максимальная скорость относительно наблюдателя, которая может быть измерена, — это скорость света в пустоте. Она равна 300 000 км/сек.



Галактика, находящаяся от нас на каком-то определенном расстоянии, удаляется именно с этой скоростью, а согласно теории относительности, эта скорость представляет собой абсолютный и непреодолимый предел. Мы не способны иметь дело ни с чем, что движется быстрее, а следовательно, ни с чем, что находится от нас дальше соответствующего расстояния.

Можно выдвигать любые доводы относительно того, есть ли еще дальше галактики или нет, — это ничего не даст. Есть там галактики или нет — не имеет ни малейшего значения. Раз мы достигли точки, столь удаленной от нас, что галактика, находящаяся в ней, движется со скоростью света в пустоте, свет этой галактики уже не может достичь нас. Согласно принципу Допплера—Физо, каждая волна растягивается до бесконечной длины, а потому ее энергия сводится к нулю. Ничто не может дойти до нас от такой удаленной галактики. Ни свет, ни излучение, ни нейтрино, ни тяготение. Ничто!

Даже если бы было возможно создать представление о чем-то, находящемся за этим предельным расстоянием, это «что-то» навсегда осталось бы недоступным для нашего наблюдения — и не из-за несовершенства инструментов, а из-за природы и строения Вселенной. Следовательно, мы можем забыть о бесконечной Вселенной, а должны говорить о наблюдаемой Вселенной, диаметр и объем которой конечны.

Остается только установить, каков диаметр наблюдаемой Вселенной. Для этого возьмем математическое уравнение, выражающее закон Хаббла:  $V = kD$ , и найдем  $D$  (расстояние от нас). В этом случае уравнение примет такой вид

$$D = \frac{V}{k}.$$

Нам нужно найти расстояние, при котором скорость удаления будет равна скорости света. Мы подставляем вместо  $V$  скорость света (300 000 км/сек), а  $k$  принимаем равным 88. В этом случае  $D$  (в миллионах световых лет) будет равно 300 000 / 88, или 3400. Это означает, что предел наблюдаемой Вселенной в любом направлении,

по-видимому, составляет 3400 миллионов световых лет, или 3,4 миллиарда световых лет

Другими словами, наблюдаемая Вселенная, по-видимому, представляет собой сферу с Землей в центре и с радиусом в 3,4 миллиарда световых лет и, следовательно, с диаметром в 6,8 миллиарда световых лет. Согласно этому расчету, предел наблюдаемой Вселенной находится в 4250 раз дальше от нас, чем галактика Андромеды

Это колоссальные размеры, и они, бесспорно, представляются достойным завершением долгих поисков предела, которые вел человек, поисков, которые он начал с исследования горизонта, находившегося в нескольких километрах от него

И все же тут тоже возникли трудности. С масштабами Вселенной, установленными в 40-х годах с помощью постоянной Хаббла, было что-то не так

### ***Пересмотренная шкала расстояний до цефеид***

Расстояния до отдаленных галактик были определены путем сравнения их видимой яркости с видимой яркостью ближайших галактик, расстояние до которых в свою очередь определялось с помощью цефеид. Наиболее же точно и надежно определенным расстоянием считалось расстояние до галактики Андромеды. Если расстояние до галактики Андромеды было определено неправильно, то неверными оказывались и все остальные расстояния — неверным оказывался самый масштаб Вселенной.

В начале же 50-х годов возникло и все более крепло неприятное подозрение, что расстояние до галактики Андромеды и в самом деле определено неверно. Если Андромеда действительно находилась от нас в 800 000 световых лет, как, по видимому, указывали цефеиды, то возникали некоторые несуразности. Например, галактика Андромеды оказывалась гораздо меньше нашей собственной Галактики — в четыре раза. Само по себе это было еще не страшно, но все галактики, величину которых удавалось определить, почему-то тоже оказывались гораздо меньше нашей Галактики

Можно было, конечно, сказать, что какая то одна галактика должна превосходить по величине все остальные, а мы как раз и оказались обитателями такой галактики. Но почему наша Галактика была настолько больше всех остальных?

Каков бы ни был процесс образования галактик, они при возникновении обладали самыми разными размерами. Тот факт, что наша Галактика намного больше Магеллановых Облаков, оспорить не мог никто, как и то, что галактика Андромеды намного превосходит по величине своих спутников — галактики М 32 и М 33. Но каждый размер галактик был представлен многими экземплярами, и ни одна галактика не была единственной в своем роде — исключительно маленькой или исключительно большой. Ни одна, кроме нашей собственной. Наша Галактика стояла особняком, намного превосходя по величине все остальные.

Кроме того, форма нашей Галактики никак не соответствовала подобной величине. Во всех случаях, когда удавалось сравнить различные галактики, гигантами среди них неизменно оказывались эллиптические галактики и особенно шаровидные галактики класса Е0. Почему же самая большая из галактик — наша Галактика — была спиральной?

И в довершение всего не только сама наша Галактика была больше всех остальных, но и входившие в ее состав части были больше и ярче соответствующих частей других галактик, например Андромеды.

Так, у галактики Андромеды имеется ореол шаровых скоплений вокруг ее центра, как и у нашей Галактики (см. стр. 76). Количество шаровых скоплений, их внешний вид и распределение в обеих галактиках очень сходны. Однако, исходя из видимой яркости отдельных шаровых скоплений в Андромеде и принимая расстояние до нее в 800 000 световых лет, можно рассчитать их реальную светимость. И оказывается, что шаровые скопления в Андромеде в среднем более чем вчетверо уступают в яркости нашим и вдвое меньше их по диаметру. Даже у отдельных звезд проявляется та же странность. Обычная Новая, вспыхивающая в Андромеде, как правило, в максимуме значительно уступает Новым нашей Галактики,

если считать, что расстояние до нее равно 800 000 световых лет.

Однако предположить, что не только наша Галактика — колосс среди галактик, но и ее шаровые скопления — колоссы среди шаровых скоплений, а звезды — колоссы среди звезд, было бы уже слишком. Создавалось впечатление, что мы смотрим на галактику Андромеды (а следовательно, и на все остальные галактики) через уменьшительное стекло. Поскольку все наши сведения о галактике Андромеды зависели от расстояния до нее, неизбежно должен был возникнуть вопрос, правильно ли было определено это расстояние. А так как цифра, принятая в 1950 г., была получена с помощью цефеид, то не мог не возникнуть вопрос: а правилен ли этот масштаб?

В начале 50-х годов этим вопросом занялся Бааде. Он исходил из того, что звезды Магеллановых Облаков и шаровых скоплений нашей Галактики принадлежат к населению II (см. стр. 216), т. е. более однородны и слабее по блеску, чем звезды населения I. Следовательно, для установления соотношения период — светимость использовали цефеиды также населения II, и они же использовались для определения масштаба нашей Галактики и расстояния до Магеллановых Облаков.

Однако те цефеиды, которые использовались для определения расстояния до галактики Андромеды (а следовательно, косвенным образом и для определения расстояний до всех отдаленных галактик), находились в спиральных ветвях Андромеды, так как голубовато-белые гиганты населения I этих ветвей были наиболее заметны на огромном расстоянии, отделяющем от нас Андромеду. Так, может быть, цефеиды населения I в спиральных ветвях Андромеды не подчиняются тому соотношению период — светимость, которому подчиняются цефеиды населения II, наблюдавшиеся Ливитт и Шепли?

Между этими двумя типами цефеид существовали заметные различия. Цефеиды населения II включали значительное число звезд с особо короткими периодами — от одного часа до полусуток. Однако среди цефеид населения I такие периоды крайне редки, а более обычные периоды от нескольких дней до нескольких недель. Во вторых, цефеиды населения II в среднем были мень

ше и слабее, чем цефеиды населения I. Это второе различие маскировалось тем обстоятельством, что цефеиды населения I в нашей Галактике находились в богатых пылью спиральных ветвях, а их ослабление и покраснение из-за межзвездной пыли недооценивались.

Собственно говоря, цефеиды населения II настолько отличались от других переменных звезд, что даже получили особое название. Они называются звездами типа RR Лиры в честь RR Лиры, первой и чужь ли не самой яркой из изученных звезд этого типа. Звезды типа RR Лиры постоянно обнаруживаются в шаровых скоплениях, а потому их иногда называют переменными скоплений.

Бааде тщательно изучил по отдельности цефеиды населения II и цефеиды населения I и в сентябре 1952 г. объявил, что соотношение период—светимость в том виде, в каком оно было сформулировано Ливитт и Шепли, верно только для цефеид населения II. Следовательно, расстояние до Магеллановых Облаков и размеры нашей Галактики были определены правильно. Однако цефеиды населения I выказывали несколько иную зависимость и при равной длине периода были на одну-две звездные величины ярче, чем следовало из соотношения, принятого Шепли.

Посмотрим, к чему это приводит. Предположим, что мы наблюдаем далекую цефеиду с периодом, который соответствует абсолютной величине  $-1$ . Это означает, что если бы она находилась от нас на расстоянии в 32,5 световых года (10 парсек), то имела бы видимую величину  $-1$ . Для того чтобы ее блеск уменьшился с  $-1$  до ее видимой звездной величины — примерно 20, — звезда должна находиться от нас примерно в 24 000 раз дальше, чем 32,5 световых года, т. е. на расстоянии в 800 000 световых лет.

Но предположим, что, согласно новой шкале период—светимость Бааде для цефеид населения I, данная цефеида будет иметь абсолютную величину не  $-1$ , а  $-3$ . Тогда она будет в 6 раз ярче, чем считалось раньше. Для того чтобы такая, в 6 раз более яркая звезда имела видимую величину около 20, ее пришлось бы поместить соответственно дальше — расстояние до нее было бы в

58 000 раз больше, чем 32,5 световых года, т. е. равнялось бы примерно 2 000 000 световых лет

После исправления цефеидного масштаба и внесения некоторых дополнительных уточнений, которые представляются необходимыми, расстояние до галактики Андромеды

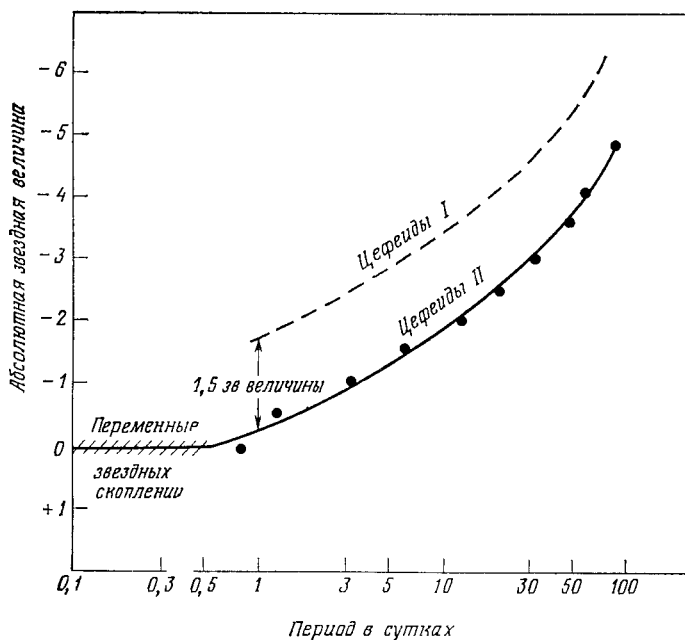


Рис. 30 Два населения цефеид

меды было оценено примерно в 2 300 000 световых лет. Все другие галактики, расположенные дальше Андромеды, также должны быть пропорционально отодвинуты.

Этим была немедленно уничтожена загадочная неповторимость нашей Галактики. Если Андромеда находится от нас на расстоянии в 2 300 000 световых лет (а не каких-то 800 000 световых лет) и все-таки кажется в телескоп такой большой и яркой, следовательно, она должна быть больше и ярче, чем считалось прежде

Теперь принято считать, что галактика Андромеды даже несколько больше нашей Галактики Андромела содержит, возможно, 200 000 000 000 звезд. Кроме того, ее шаровые скопления, которые тоже оказались дальше от нас, чем предполагалось, должны быть больше и ярче, чем думали раньше — собственно говоря, они так же велики и ярки, как шаровые скопления нашей Галактики. И все другие галактики теперь тоже оказались больше и ярче, чем предполагалось раньше, — многие из спиральных галактик соперничают по величине с нашей Галактикой, а некоторые шаровидные галактики, возможно, превосходят ее в 10, а то и в 30 раз.

Наша Галактика остается гигантской, но она уже не единственная в своем роде диковинка.

Поскольку этот новый масштаб расстояний убрал из галактической картины наиболее вопиющие несообразности, астрономы надеются, что их нынешняя шкала соответствует действительности. Во всяком случае, за годы, прошедшие с тех пор, как Бааде внес свою поправку, не было обнаружено ничего, что могло бы породить сомнения в ее правильности. Более того, уже после смерти Бааде, умершего в 1960 г., астрономы, в том числе американский астроном русского происхождения Сергей Илларионович Гапошкин (род. в 1898 г.), продолжали изучать сделанные им с помощью 200 дюймового телескопа фотографии Андромеды и полностью подтвердили его выводы.

Новая шкала расстояний, разумеется, никак не повлияла на измерения красного смещения. Эти измерения не зависят от расстояний. Скопление галактик в Деве удаляется от нас со скоростью в 1140 км/сек, каково бы ни было расстояние до него. Сравнение яркости самого яркого из его членов и яркости галактики Андромеды по-прежнему показывает, что оно находится в 16,5 раз дальше от нас, чем эта последняя.

Но теперь, когда по новой оценке расстояние до самой Андромеды было утроено, следует утроить и расстояние до скопления в Деве. Следует считать, что оно находится от нас на расстоянии, равном  $2\,300\,000 \times 16,5$  световых лет, т. е. примерно 38 000 000 световых лет, а не 13 000 000.

Для определения постоянной Хаббла мы делили скорость удаления галактики или скопления галактик на расстояние, выраженное в миллионах световых лет. Теперь вместо того, чтобы делить 1140 на 13, мы должны делить это число на 38, так что постоянная Хаббла оказывается равной не 88, а 30. Если эта цифра и неточна, то скорее в сторону преувеличения. А потому примем величину постоянной Хаббла за 24.

Для определения того расстояния, на котором галактика будет удаляться от нас со скоростью света, вернемся еще раз к уравнению  $D=V/k$ , принимая  $V$  равным 300 000, а  $k$  на этот раз 24. Тогда  $D$  оказывается равным 12 500, и поэтому мы можем сказать, что галактика, удаленная от нас на 12 500 миллионов световых лет или на 12,5 миллиарда световых лет, обнаружена нами быть не может. Это предел наблюдаемой Вселенной, или радиус Хаббла.

Другими словами, мы можем сказать, что диаметр сферы наблюдаемой Вселенной (с Землей в центре) равен 25 миллиардам световых лет. Этот диаметр почти в четыре раза больше того, который считался верным еще в 1950 г.



## Начало Вселенной

### *Большой Взрыв*

Изменение шкалы расстояний Вселенной не только уничтожило ненормальный гигантизм нашей Галактики, но и в значительной степени уменьшило другое, еще более серьезное несообразие.

Во второй четверти XX в. астрофизики и геологи вновь разошлись в оценке возраста Земли, как это уже было однажды почти 100 лет назад, во времена Гельмгольца (см. стр. 132).

Расхождение вновь возникло из-за явления, которое как будто не причиняло особых хлопот в приложении к настоящему и будущему, но вызывало серьезные трудности, когда его пытались проследить в прошлом. Во времена Гельмгольца это было предполагаемое сжатие Солнца, а во времена Хаббла — расширение Вселенной.

Если попробовать заглянуть в будущее, исходя из предположения, что галактики будут вечно удаляться друг от друга так же, как теперь, никаких непреодолимых трудностей не возникнет. Каждая галактика вне нашей Местной Группы будет продолжать удаляться с непрерывно возрастающей скоростью, пропорциональной непрерывно возрастающему расстоянию. Свет галактик будет становиться все слабее и слабее и из-за роста расстояния и из-за увеличения красного смещения и вызываемого им уменьшения энергии света. Постепенно все они приблизятся к пределу наблюдаемой Вселенной и исчезнут для нас. Вся наблюдаемая Вселенная будет тогда исчерпываться Местной Группой.

Такое будущее может показаться исполненным одиночества, но ведь мы потеряем только объекты, невидимые невооруженным глазом, объекты, о существовании

и подлинной природе которых мы узнали только за последние 50 лет. Таким образом, потеря для неастрономов будет не так уж велика. Кроме того, случится это еще очень нескоро — через 100 или больше миллиардов лет, — а тем временем успеют произойти события, касающиеся нас гораздо ближе. Наше Солнце уже превратится в белого карлика, а наша планетная система станет необитаемой, даже если предположить, что она благополучно переживет тот период, когда Солнце будет красным гигантом. Все звезды, которые сейчас больше и ярче красных карликов, без сомнения, станут белыми карликами, и все галактики достигнут глубокой старости. Возможно, возникнут новые звезды, но через сотню миллиардов лет запасы газа и пыли сократятся до минимума и такие новые звезды будут большой редкостью. Кроме того, эти последние новые звезды, возможно, будут создаваться из газа, настолько насыщенного сложными атомами (рассеянными в пространстве сотнями миллионных Сверхновых, которые успеют вспыхнуть за этот срок), что запасы водорода в них будут ненормально малы, а потому срок их жизни будет весьма краток.

Однако, если такое будущее и выглядит мрачно, оно в общем не противостоят принятым научным воззрениям и не ставит перед астрономами никаких серьезных проблем. Нельзя ждать, чтобы Вселенная считалась с человеческими эмоциями. Она может состариться и умереть, не замечая сожалений человека, а ее большие компоненты могут продолжать удаляться друг от друга даже после того, как галактики догорят и превратятся в угольки белых карликов.

Но попробуем оглянуться в прошлое. Попробуем прокрутить фильм о расширении Вселенной в обратную сторону. В этом случае нам придется представить себе, как отдельные галактики сближаются с определенными скоростями, и этот процесс не сможет продолжаться вечно. В конце концов галактики должны будут встретиться. Если закон Хаббла верен и каждая галактика будет двигаться к центру со скоростью, пропорциональной ее расстоянию от отдельной галактики (например, нашей), взятой в качестве точки отсчета, то Вселенная станет

сжиматься и все галактики должны будут одновременно встретиться в каком-то месте

Следовательно, в какой-то момент прошлого все вещество и энергия Вселенной должны были существовать в виде единого гигантского сгустка. В этот момент прошлого (в «нуль-пункт времени») Вселенная никак не могла быть такой, как теперь, известная нам Вселенная могла возникнуть только после этого нуль-пункта времени, и этот нуль-пункт можно, собственно говоря, считать началом нашей Вселенной

Исходя из расстояний, разделяющих сейчас галактики, и скорости, с которой Вселенная расширяется в настоящее время, можно вычислить этот нуль-пункт времени. Согласно шкале расстояний, принятой с 1925 по 1952 г, он имел место примерно 2 000 000 000 лет назад

Два миллиарда лет — срок долгий; бесспорно, более долгий, чем те 20 миллионов лет, которые приписывал Земле Гельмгольц. Однако 2 миллиарда лет — это слишком мало для геологов, и они были в полной растерянности. Как можно утверждать, что 2 миллиарда лет назад Вселенная существовала в виде единого сгустка и что все галактики образовались уже после этого момента, раз сама Земля, согласно расчетам, основанным на превращении урана в свинец, вдвое старше (см стр 136)?

Земля просто не могла быть вдвое старше всей Вселенной. Что-то было неверно то ли с относительным содержанием урана и свинца, то ли с постоянной Хаббла.

На этом дело и остановилось, пока исследования Бааде не показали, что неверен был масштаб расстояний во Вселенной, из-за чего астрономы прежде приняли очень завышенную величину для постоянной Хаббла. Вновь правы оказались геологи и неправы астрономы. Новая шкала расстояний Вселенной позволила заключить, что нуль-пункт времени отделяет от нас 13 миллиардами лет.

Если эта цифра и не отвечает действительности, то она скорее преуменьшена. Измеряя возраст звездных скоплений, астрономы иногда получают такие цифры, как 10 миллиардов лет или даже 25 миллиардов лет. Однако никто не станет утверждать, что сейчас постоян

ная Хаббла определена окончательно или что точно определен возраст звездных скоплений. Поэтому было бы преждевременно начинать спор из-за того, когда именно был нуль-пункт времени, и пока достаточно только сказать, что нуль-пункт времени, если он когда-нибудь был, отделен от нас по крайней мере 15 миллиардами лет и что солнечная система образовалась где-то на протяжении этого периода.

Но что произошло в нуль-пункт времени? Первым всерьез занялся этим вопросом бельгийский астроном Жорж Эдуард Леметр (1894—1966). В 1927 г. он высказал предположение, что в нуль-пункт времени вещество и энергия Вселенной были в самом деле сдвинуты в единую гигантскую массу. Он назвал ее «космическим яйцом», потому что из нее образовался космос (синоним слова «Вселенная»).

«Космическое яйцо» было неустойчиво, и произошел самый гигантский и катастрофический взрыв, какой только можно вообразить: ведь выброшенные этим взрывом осколки стали галактиками, которые разлетелись во всех направлениях. Последствия этого взрыва сказываются и поныне: мы наблюдаем их в виде разбегания галактик и скоплений галактик друг от друга.

Если различные осколки «космического яйца» были выброшены с различными скоростями (в зависимости от того, в какой части «яйца» первоначально находился данный осколок и насколько он затормозился от столкновений с другими осколками), тогда те, которые сохранили высокие скорости, естественно, должны были постоянно удаляться от тех, которые вышли из этого процесса с низкими скоростями. Это, утверждал Леметр, и привело к нынешнему положению, когда галактики удаляются друг от друга со скоростью, прямо пропорциональной расстоянию (Кроме того, возможно, что если «космическое яйцо» и не обладало моментом количества движения, некоторые его осколки приобрели в результате взрыва положительный момент количества движения, а другие — отрицательный, так что общая их сумма равна нулю.)

Леметровская модель Вселенной — это физическая аналогия теоретической модели де Ситтера. Вселенная

де Ситтера расширялась просто потому, что это соответствовало разработанным Эйнштейном уравнениям. Модель же Леметра расширялась вследствие физического явления — взрыва, который отличался от взрыва шутихи на Земле своими размерами, но не природой. Леметровская модель легка для понимания, она конкретна, эффективна и опирается на привычные представления. Эддингтон принял ее и широко популяризовал, а после него ее восторженным сторонником стал американский астрофизик русского происхождения Джордж Гамов (1904—1967). Имея в виду первоначальный взрыв, Гамов назвал леметровскую модель Вселенной теорией Большого Взрыва, хотя ее можно было бы назвать и более скромно теорией взрывающейся Вселенной.

Естественно, не может не вызвать интереса природа «космического яйца». Из чего оно состояло? Каковы были его свойства?

Пожалуй, мы получим об этом некоторое представление, если проследим (мысленно) развитие Вселенной вперед и назад во времени. В настоящий момент Вселенная, по-видимому, состоит, грубо говоря, из 90% водорода, 9% гелия и 1% более сложных атомов. По мере последовательного развития Вселенной водород в недрах звезд непрерывно превращается в гелий, а гелий — в более сложные атомы (см. стр. 185). Если мы проследим развитие Вселенной в обратном направлении, количество гелия и более сложных атомов будет уменьшаться, а количество водорода — увеличиваться. Следовательно, можно ожидать, что в период, близкий к нуль-пункту времени, Вселенная будет состоять из одного водорода или почти из одного водорода.

Но ведь по мере того, как мы наблюдаем развитие Вселенной в обратном направлении, ее вещество и энергия концентрируются во все более тесном пространстве. В нуль-пункт времени весь существующий водород должен быть максимально сконцентрирован: все составляющие его частицы прижаты друг к другу настолько тесно, насколько это возможно.

Атом водорода состоит только из двух частиц: центральный протон несет положительный электрический заряд, а внешний электрон отрицательный электри-

ческий заряд. До тех пор пока эти частицы существуют раздельно, имеется предел, дальше которого сжатие определенной массы водорода невозможно. Однако можно

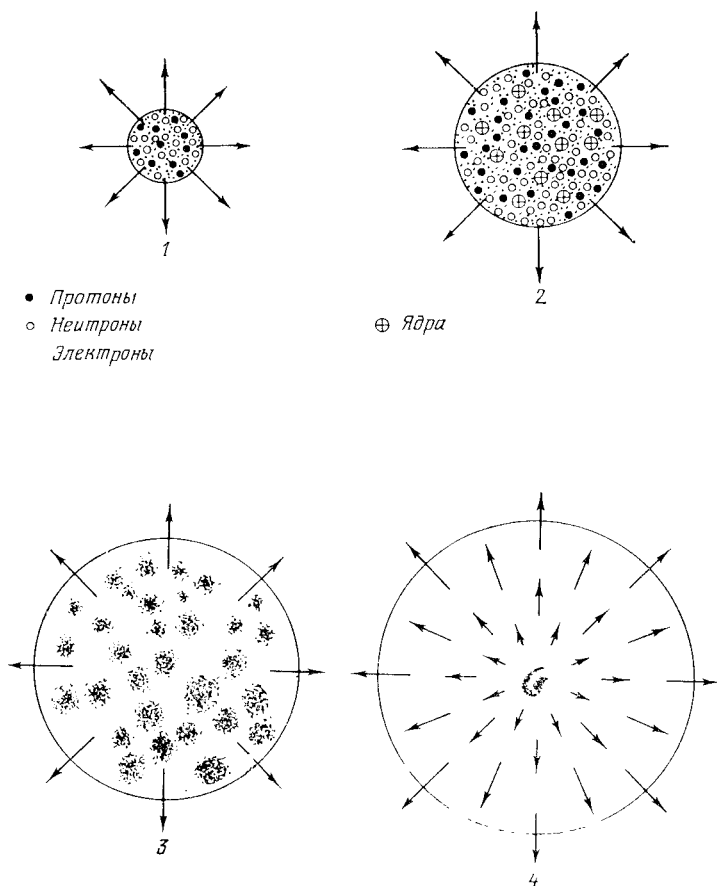


Рис 31 Теория Большого Взрыва

считать, что если этот критический предел будет превзойден, электроны и протоны вдавятся один в другой и образуют массу не имеющих электрического заряда частиц, которые называются нейтронами.



составляет 13 мин). Образовавшиеся протоны можно считать ядрами атомов водорода-1.

Образовавшиеся протоны иногда сталкивались с еще сохранившимися нейтронами, и так постепенно создавались более сложные устойчивые атомные ядра. Преимущество этой теории в том, что она использует реакции захвата нейтронов — атомы действительно проявляют такую тенденцию, что можно наблюдать в лаборатории.

Соединяясь, например, с одним нейтроном, протон образовывал бы ядро водорода-2, или дейтерия (1 протон + 1 нейтрон). Водород-2, присоединив еще один нейтрон, образовал бы водород-3, или тритий (1 протон + 2 нейтрона). Однако тритий неустойчив. Один из нейтронов его ядра испускает электрон и становится протоном, а все ядро становится ядром гелия-3 (2 протона + 1 нейтрон). Ядро гелия-3 захватывает нейтрон и становится обычным гелием-4 (2 протона + 2 нейтрона). Этот процесс продолжается, и постепенно, путем присоединения одного нейтрона за другим, возникают все элементы

При невероятно высоких температурах, созданных взрывом «космического яйца», необходимые для этого ядерные реакции, по мнению Гамова, произошли очень быстро — возможно, в первые полчаса. Затем постепенно, по мере понижения температуры, различные ядра начали захватывать электроны, образуя атомы; атомы скоплялись в гигантские газовые облака, которые уносились все дальше от места взрыва «космического яйца» и постепенно сгущались в галактики и звезды

Естественно, лишь малая часть первоначальных ядер водорода-1 могла столкнуться с нейтронами и образовать водород-2, лишь малая часть водорода-2 претерпела бы новые столкновения с нейтронами, превращаясь в гелий-3 и т. д. Каждый более сложный вид атома оказывался бы более редким, чем предыдущий, чем и можно было бы объяснить тот факт, что в современной Вселенной наблюдается более или менее правильное уменьшение количества атомов по мере увеличения их сложности

Падение это не абсолютно равномерно. Гелий-4 более распространен, чем водород-2 или гелий-3, а атомы железа-56 гораздо более многочисленны, чем большинст-



во других менее сложных атомов. С другой стороны, простые атомы вроде лития-6, бериллия-9, бора-10 и бора-11 менее распространены в космическом масштабе, чем можно было бы ожидать, учитывая простоту их строения.

Теория Гамова предлагает объяснение и для этого факта. Гелий-4 и железо-56 — атомы чрезвычайно устойчивые. Они лишь с большим трудом переходят в более сложные атомы, а потому постепенно накапливаются в мире. Атомы же лития, бериллия и бора чрезвычайно легко вступают в реакцию и «сгорают».

Теория Гамова объясняет распределение различных атомов в межзвездном веществе. Но как только образуются звезды, в их недрах начинают происходить новые изменения.

Однако в теории Гамова есть одно слабое место, с которым пока еще никто ничего не смог сделать. Атомы должны усложняться, присоединяя нейтроны по одному, но за гелием-4 лежит непреодолимый разрыв. Ядро гелия-4 настолько устойчиво, что не проявляет никакой склонности принимать новый нейтрон или протон. Если же нейтрону все-таки удастся присоединиться к ядру гелия-4, то образуется ядро гелия-5 (2 протона + 3 нейтрона), которое примерно за 0,000 000 000 000 000 001 сек (одну тысячную одной миллиардной одной миллиардной доли секунды) опять распадается на ядро гелия-4 и один свободный нейтрон. А если к ядру гелия-4 ухитряется присоединиться протон, то образуется ядро лития-5 (3 протона + 2 нейтрона), которое распадается даже еще быстрее и вновь становится ядром гелия-4.

Можно также предположить, что ядро гелия-4 столкнется с другим ядром гелия-4 и они сольются. Вероятность этого события еще меньше, чем вероятность слияния гелия-4 с весьма многочисленными свободными протонами и нейтронами, и все же это тоже не выход. Образуется бериллий-8, который с такой же сверхбыстротой распадается на две альфа-частицы <sup>1)</sup>.

---

<sup>1)</sup> Альфа-частица — другое название атомного ядра гелия 4 —  
*Прим перев*

Другими словами, как только вы, добавляя нейтрон за нейтроном, получите ядро гелия-4, вы сразу оказываетесь в тупике. Между гелием-4 и атомом с массой 5 лежит непреодолимый разрыв, и такой же разрыв — между гелием-4 и атомом с массой 8.

Конечно, не исключена и возможность того, что с ядром гелия-4 столкнутся одновременно две частицы. Если и протон, и нейтрон после такого столкновения просоединятся к ядру, образуется литий-6 (3 протона + 3 нейтрона), который до начала распада просуществует примерно полсекунды — срок, достаточный для продолжения процесса.

К несчастью, в условиях, которые Гамов считает объяснительными для первых 30 мин после Большого Взрыва, отдельные ядра рассеяны так далеко друг от друга, что вероятность одновременного столкновения двух частиц с альфа-частицей практически равна нулю. Таким образом, гамовская схема, по-видимому, в состоянии объяснить происхождение только атомов водорода и гелия, но на этом она останавливается.

Этой теории образования элементов противостоит другая теория, которую я в этой книге принимаю безоговорочно и о которой уже упомянул, когда говорил о втором поколении звезд (см стр. 207). Эта теория предложена Фредом Хоилом, который считает, что исходным материалом Вселенной был только водород-1, а все остальные элементы образуются в звездах и попадают в межзвездное пространство при взрывах Сверхновых.

Хоил исходит из тех же процессов, что и Гамов, но с одной существенной разницей. В недрах звезды плотность вещества несравненно выше, чем в межзвездном пространстве. А потому столкновение ядра гелия-4 одновременно с двумя частицами становится гораздо более вероятным, чем в условиях, предусмотренных теорией Гамова. Более того, поскольку недра звезды богаче всего именно гелием-4, существуют вполне реальные шансы одновременного столкновения ядра гелия 4 еще с двумя такими же ядрами, в результате чего образуется ядро углерода-12. Таким образом обходятся устойчивые атомы между гелием-4 и углеродом-12, т. е. упоминавшиеся

выше атомы лития, бериллия и бора. Эти легкие атомы будут возникать только в результате более редких вторичных процессов, что в свою очередь объясняет их относительную редкость в современной Вселенной.

Образование элементов в недрах звезд не только позволяет обойти разрыв на уровнях атомов с массой в 5 и 8 единиц; оно подтверждается одним интересным обстоятельством. Спектр некоторых необычных звезд класса S показывает присутствие в них элемента технеция. Технеций — радиоактивный элемент, не имеющий стабильных изотопов. Медленнее всех распадается технеций-99; период его полураспада равен 220 000 лет. По человеческим меркам это долгий срок, но через 5 миллионов лет (а это ничтожная доля жизни обыкновенной звезды) от первоначального запаса технеция 99 останется лишь одна миллиардная часть. Отсюда следует, что технеций, обнаруженный спектральным анализом в наше время, не мог существовать в период образования звезды, а возник в ее недрах совсем недавно.

Следовательно, имеющиеся в нашем распоряжении факты свидетельствуют в настоящее время скорее в пользу теории Хойла, а не Гамова, и она вообще выглядит правдоподобнее.

## **До Большого Взрыва**

Если мы признаем существование «космического яйца» как исходной формы Вселенной и его взрыв в нуль-пункт времени, перед нами неизбежно встанет вопрос: а откуда взялось «космическое яйцо»?

Мы можем уклониться от ответа, укрывшись за идею вечности. Закон сохранения энергии подразумевает, что субстанция Вселенной в основе своей вечна, а потому мы можем сказать, что материя, из которой слагалось «космическое яйцо», всегда была там.

Однако, если даже допустить, что материя космического яйца всегда была там, всегда ли она существовала в форме «космического яйца»? Если бы «космическое яйцо» существовало всегда, оно должно было быть устойчивым. А если оно было устойчивым, то почему оно вдруг перестало быть устойчивым и взорвалось в мо-

мент, именуемый нуль-пунктом времени, после того как неисчислимые миллиарды лет оно просуществовало, не взрываясь?

Точно та же проблема, только в более скромных, звездных масштабах, встает перед нами, когда мы спрашиваем, почему вдруг звезда вспыхивает как Сверхновая, после того как в течение миллиардов лет она была достаточно устойчивой. Однако о звездах мы знаем уже многое и можем объяснить этот взрыв, исходя из развития ядерных реакций во внутренних областях звезды.

К несчастью, изучить «космическое яйцо» мы не можем; мы не знаем, какие процессы могли происходить внутри него; мы не имеем ни малейшего представления о том, какие силы могли удерживать его в состоянии устойчивости и какие они порождали изменения, которые, постепенно нарастая, в конце концов внезапно сделали его неустойчивым.

Если мы спросим себя, в какой форме могла существовать субстанция Вселенной, оставаясь устойчивой бесчисленные миллиарды лет, то, чтобы не напрягать излишне воображения для объяснения этой устойчивости, легче всего нам будет представить себе Вселенную в виде чрезвычайно разреженного газа. В этом случае Вселенная будет чем-то вроде «пустого пространства», которое в настоящее время существует между галактиками, а уж оно-то бесспорно устойчиво.

Однако и такой чрезвычайно разреженный газ будет испытывать воздействие своего собственного очень слабого поля тяготения. Медленно, на протяжении многих миллиардов лет, газ будет концентрироваться и Вселенная будет сжиматься. По мере повышения плотности субстанции Вселенной поле тяготения соответственно усиливается и в конце концов, по истечении еще многих миллиардов лет, сжатие Вселенной начнет убыстряться.

Но сжатие, как указывал еще Гельмгольц, должно нагревать Вселенную и создавать все более и более высокие температуры в веществе, сжимаемом во все меньший и меньший объем. Растущая температура все больше и больше противодействует сжатию, вызываемому тяготением, и начинает это сжатие замедлять.

Однако инерция вещества заставляет его сжиматься и после достижения температуры, уравнивающей гравитацию. Наконец, Вселенная сжимается до предела, соответствующего «космическому яйцу» или чему-то в этом роде. В какой-то момент центробежное воздействие температуры и излучения берет верх, вещество Вселенной выталкивается наружу со все нарастающей скоростью и процесс этот завершается Большим Взрывом.

Согласно этой точке зрения, Вселенная начинается с состояния практической пустоты, проходит фазу сжатия до максимальной плотности, а затем через фазу расширения вновь возвращается к состоянию пустоты. Таким образом, нам не нужно ломать голову над «космическим яйцом», которое существовало изначально, а потом после неопределенного периода устойчивости вдруг взорвалось «Космическое яйцо» становится преходящим объектом, помещенным в середину вечности.

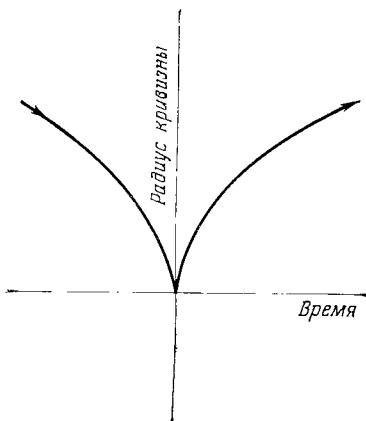


Рис 32 Гиперболическая Вселенная

Эта модель называется гиперболической Вселенной. Ее можно изобразить графически с помощью ее радиуса кривизны. Луч света, бесконечно движущийся во Вселенной, геометрию которой Эйнштейн определил как риманову (см. стр. 226), опишет гигантскую окружность, радиус которой и будет радиусом кривизны Вселенной. У сжимающейся Вселенной этот радиус будет уменьшаться, у расширяющейся — увеличиваться. В гиперболической Вселенной он будет сначала уменьшаться до минимума, а затем опять увеличиваться.

Гиперболическая Вселенная существует вечно, но ее нельзя назвать подлинно вечной, как в том случае, если бы она существовала всегда в какой-то неизменной фор-

ме или в форме, которая поочередно испытывает изменения противоположного характера, но в среднем остается неизменной. Эта Вселенная претерпевает постоянные и необратимые изменения. Она начинается как пустота, заполненная разреженным газом, по-видимому, водородом. Она кончается как пустота, заполненная бесчисленными белыми карликами. У нее есть четкое начало и четкий конец, а мы существуем в тот краткий период, когда форма Вселенной на мгновение стала отличаться от вечной пустоты.

Однако гиперболическая Вселенная — не единственная модель, к которой мы можем прийти, рассматривая «космическое яйцо». Если считать, что Вселенная разлетается во все стороны под воздействием гигантского взрыва, то ведь остается еще сила всемирного тяготения, которая стремится снова соединить разлетающиеся куски, и, возможно, ей это удастся.

Чтобы лучше понять это, давайте рассмотрим сходную ситуацию на Земле. При обычном взрыве обломки могут взлететь в воздух, но скорость, с которой они удаляются от Земли, непрерывно гасится тяготением. В конце концов они на мгновение останавливаются, а потом начинают падать назад, на Землю. Чем больше сила, подбросившая обломок вверх, тем выше он взлетит, прежде чем остановится и начнет падать вниз.

Однако поле тяготения Земли с расстоянием слабеет, и если бросить предмет с достаточной силой, он достигнет зоны, где непрерывно ослабевающее поле тяготения Земли уже не сможет свести его уменьшающуюся скорость к нулю. Такой предмет будет брошен со скоростью, большей, чем «критическая скорость», которая у поверхности Земли составляет, как известно, примерно  $11,3 \text{ км/сек}$ .

Не зная реальных размеров «космического яйца», его массы и силы разрушившего его взрыва, мы не можем установить, достигли разметанные взрывом осколки критической скорости или нет. Будут ли галактики вечно удаляться друг от друга, или скорость их удаления будет с течением времени постепенно падать, достигнет на мгновение нуля, а затем они начнут вновь сближаться — сначала медленно, а потом все быстрее и быстрее?

Предположим, что когда-нибудь галактики снова начнут сближаться. В такой сжимающейся Вселенной спектры галактик покажут фиолетовое смещение, и оно будет возрастать по мере роста скорости сближения в результате все убыстряющегося сжатия. Поток энергии, направленный к центру сжимающейся Вселенной, будет сгущаться и увеличиваться. Под бичом этого потока все ядерные реакции, протекавшие в расширяющейся Вселенной, начнут развиваться в обратную сторону.

В расширяющейся Вселенной с общим ослаблением излучения слияние атомов от водорода до железа высвобождало энергию, а в сжимающейся Вселенной с общим ростом излучения распад атомов от железа к водороду будет поглощать энергию.

Короче говоря, к тому времени, когда Вселенная сожмется в нечто, похожее на «космическое яйцо», она опять вся будет состоять из водорода. Вслед за образованием «космического яйца» произойдет новый Большой Взрыв и весь процесс повторится снова. Результатом будет вечно пульсирующая Вселенная, или мерцающая Вселенная.

Пульсирующую Вселенную можно рассматривать как гигантскую цефеиду. Такая Вселенная будет по-настоящему вечной, так как катастрофические изменения в ней носят периодический характер. Тут нет ни четкого начала, ни четкого конца, ни непрерывного необратимого перехода от одной космической структуры к другой, принципиально от нее отличной. Какова Вселенная сейчас, такой же она станет снова через неисчислимые миллиарды лет, после того как сожмется и вновь взорвется, и такой же она была неисчислимые миллиарды лет назад, до ее последнего сжатия и взрыва.

## ***Непрерывное творение***

Однако по меньшей мере до 1952 г. теория Большого Взрыва как будто включала невозможные предпосылки. Согласно этой теории, нуль-пункт времени имел место 2 миллиарда лет назад, тогда как Земля насчитывала уже почти 5 миллиардов лет. Следовательно, Большой Взрыв оказывался фикцией и нужно было создавать модель Вселенной, обходясь без «космического яйца».





что вы находитесь на ее краю, где все галактики окажутся с одной стороны, а с другой не будет ничего. Как же согласовать это с принятой Эйнштейном моделью римановой Вселенной, обладающей конечным объемом?

На самом деле возможна такая Вселенная, которая при конечном объеме все же будет содержать бесконечное число галактик

Согласно теории относительности Эйнштейна, необходимо считать, что предмет, движущийся по отношению к нам, будет, как покажут все доступные нам способы измерения, короче в направлении своего движения, чем он был бы в состоянии покоя. Чем больше скорость, тем заметнее это «укорачивание». Если предмет движется со скоростью света, его длина в направлении движения равна нулю.

Удаляющиеся от нас галактики должны представляться нам укороченными — и чем они дальше, тем укороченнее кажутся, так как с увеличением расстояния растет и скорость удаления. Вблизи края Вселенной галактики становятся тоньше листка бумаги и в самую границу их может быть втиснуто бесконечно много. В этом случае мы получаем бесконечную Вселенную, втиснутую в конечный объем. (Из-за красного смещения бесконечное число приграничных галактик будет посылать во внутренние области лишь конечное количество излучения, частиц или тяготения)

Для наблюдателя, находящегося на одной из таких приграничных галактик, разумеется, ни он сам, ни его галактика не покажутся тонкими, как листок бумаги. Его галактика для него будет выглядеть нормально, как и соседние галактики. На дальних же расстояниях он тоже будет наблюдать бесконечное число галактик, втиснутое в конечную границу, и наша Галактика, если она будет доступна его наблюдению, покажется ему тоньше листка бумаги. (Все тут зависит от точки наблюдения так, если бы Земля была прозрачной, мы видели бы вверх ногами австралийцев, а они — нас.)

Такая бесконечная Вселенная плохо сочетается с идеей «космического яйца», так как, бесспорно, проще представить себе «космическое яйцо», обладающее конечными размерами и превращающееся в результате

взрыва в конечное число галактик. Однако Гамов готов рассмотреть и «космическое яйцо» бесконечных размеров, и в этом случае космологический принцип не вступит в противоречие ни с гиперболической, ни с пульсирующей Вселенной.

Три астронома в Англии — австриец по происхождению Герман Бонди (род в 1919 г.), Томас Голд (род в 1920 г.) и Фред Хойл — решили, что космологический принцип не полон. Согласно ему, Вселенная оставалась неизменной при перемещении наблюдателя в пространстве. Ну, а при перемещении его во времени?

Если Вселенная претерпевает необратимые изменения (гиперболическая Вселенная) или изменения, которые становятся обратимыми лишь через много миллиардов лет (пульсирующая Вселенная), наблюдатель будет иметь дело со Вселенной, радикально меняющей свою природу во времени. Например, 10 миллиардов лет назад наблюдатель, возможно, видел бы маленькую Вселенную, наполненную молодыми, тесно расположенными галактиками, включающими почти исключительно молодые звезды, состоящие практически из одного водородного рода. 50 миллиардов лет спустя наблюдатель, возможно, увидел бы огромную пустую Вселенную, галактики которой, разделенные колоссальными расстояниями, состояли бы в основном из белых карликов. А через 100 миллиардов лет он, быть может, увидел бы сжимающуюся Вселенную.

Бонди, Голд и Хойл сочли, что логически так быть не может. Вселенная должна оставаться в основном одной и той же для наблюдателя в любое время, а не только в любом месте. Они назвали это положение совершенным космологическим принципом.

Тем не менее Вселенная изменяется в двух важнейших отношениях, и эти изменения нельзя оспаривать, так как они подтверждаются неопровержимыми доказательствами. Во-первых, расстояние между галактиками непрерывно увеличивается, и, во-вторых, атомы водорода непрерывно превращаются в гелий и другие, более сложные атомы. Если совершенный космологический принцип верен, должны существовать процессы, компенсирующие эти изменения.

Решение, предложенное этими астрономами в 1948 г., опиралось на предположение, что водород непрерывно возникает из ничего. Эта гипотеза получила название теории непрерывного творения или теории стационарной Вселенной.

Естественно, на подобное предположение сразу же хочется возразить, что оно нарушает закон сохранения энергии. Но, с другой стороны, этот закон в свою очередь — всего лишь предположение, опирающееся на тот факт, что человечеству никогда не доводилось наблюдать возникновения энергии из ничего. А требования теории непрерывного творения очень малы: создание одного атома водорода в год на миллиард литров пространства — событие слишком незначительное, чтобы его можно было обнаружить с помощью приборов, которыми мы располагаем. Такое непрерывное творение не нарушит закона сохранения энергии, который в сущности не утверждает, что энергия не может возникнуть из ничего. а гласит лишь: «Еще ни разу не наблюдалось, чтобы энергия возникала из ничего».

(Возможно и другое предположение: вещество возникает за счет энергии расширения Вселенной, которая поэтому расширяется чуть-чуть медленнее, чем расширялась бы, если бы не происходило непрерывного творения)

Каковы будут следствия непрерывного творения, если мы допустим, что оно существует? Удаление галактик друг от друга придется объяснять не взрывом, а другими, более тонкими причинами. В 1959 г., например, Герман Бонди и Раймонд Артур Литтлтон выдвинули предположение, что положительный заряд протона, возможно, чуть больше отрицательного заряда электрона. Предположим, что положительный заряд протона больше отрицательного заряда электрона только на одну миллиардную миллиардной доли. Такую разницу не в состоянии заметить даже самый чувствительный прибор, имеющийся в нашем распоряжении. Однако ее достаточно для того, чтобы создать у всех галактик общий положительный заряд и заставить их непрерывно удаляться друг от друга. Такое объяснение расширяющейся Вселенной астрономы в общем считают маловероятным, но

оно — хороший пример тех физических причин, отличных от взрыва, которых ищут те, кто хотел бы обойтись без идеи Большого Взрыва

По мере же того, как галактики удаляются друг от друга, независимо от причин этого удаления в промежутках между ними постепенно накапливается непрерывно возникающее вещество.

Накопление это, конечно, идет очень медленно, но ведь и скорость удаления галактик друг от друга в сравнении с разделяющими их колоссальными расстояниями очень мала. Требуется несколько миллиардов лет для того, чтобы расстояние между двумя галактиками удвоилось, а за это время между ними успевает накопиться достаточно вещества, чтобы оно могло сгуститься в новую галактику. Поэтому плотность галактик в пространстве не уменьшается по мере того, как старые галактики расходятся, медленно скапливаясь на границе толщиной в листок бумаги или же, как, по-видимому, считает Хоил, тем или иным образом удаляясь за пределы наблюдаемой Вселенной. Между ними возникают новые галактики, и оба эти процесса уравнивают друг друга.

Кроме того, вещество, возникающее в процессе непрерывного творения, будет, естественно, наипростейшим. Частица вещества образуется, быть может, в виде атома водорода или в виде нейтрона, который через несколько минут распадается на протон и электрон, а они затем вступают во взаимодействие и образуют атом водорода. В любом случае новые галактики, образующиеся из вновь созданного вещества, будут молодыми галактиками, созданными из «свежего» водорода. Это означает, что любой наблюдатель в любой момент будущего увидит вокруг себя столько же галактик, сколько мы видим их сейчас, с такой же долей молодых галактик среди них. Вселенная никогда не станет ни пустой, ни старой, хотя отдельные галактики и могут состариться до любого предела.

Если мы оглянемся в прошлое, можно представить себе, что галактики сближались, но им вовсе не обязательно сходиться совсем. Непрерывное творение во времени, обращенном вспять, становится непрерывным раз-

рушением. В такой движущейся во времени вспять Вселенной сложные атомы распадаются, превращаясь в водород, а водород исчезает. Галактики тают по мере сближения, так и не образуя «космического яйца». Их место занимают другие галактики из бесконечного запаса

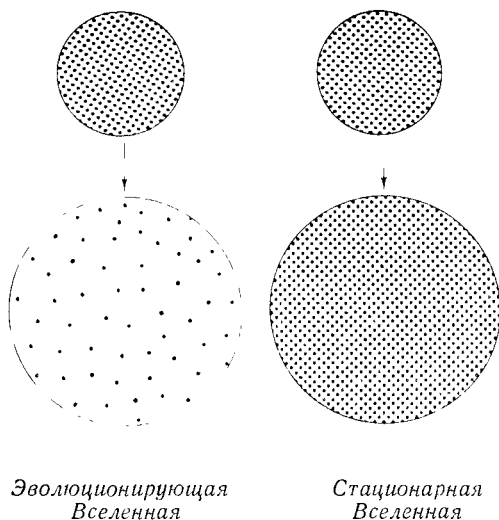


Рис 34

са на границе или из бесконечного запаса за границей в зависимости от того, чью точку зрения мы примем. И в конечном счете галактики не сближаются и не становятся моложе, как бы далеко мы ни ушли назад во времени.

При таких условиях Вселенная в целом не меняется со временем ни в том, ни в другом направлении, а остается постоянной. Эта модель представляет собой стационарную Вселенную и подчиняется совершенному космологическому принципу.

Есть что-то очень привлекательное в идее о вечной и бессмертной Вселенной, в которой человек (или его эволюционировавшие потомки) может существовать вечно, и она очень понравилась широкой публике. Это облегчалось еще и тем, что наиболее усердным пропагандистом теории непрерывного творения был Фред Хоил, талант-

ливы и интересный писатель, чьи научно-популярные книги по астрономии встречали у широкой публики самый доброжелательный прием. (Правда, Джордж Гамов, наиболее видный из сторонников теории Большого Взрыва, также пользуется большим успехом как автор научно популярных книг. В истории науки редко можно встретить подобную схватку гитанов на виду у непосвященных.)

Конечно, в 1952 г., когда Бааде предложил новый масштаб космических расстояний и отодвинул нуль пункта времени на добрых 6 миллиардов лет в прошлое, сильнейший довод в пользу стационарной Вселенной (а именно, что Большого Взрыва попросту не могло быть) отпал сам собой. Однако к тому времени представление о стационарной Вселенной завоевало слишком большую популярность, чтобы от него можно было так просто отказаться.

Сделать выбор между описанными в этой главе моделями Вселенной очень трудно.

При решении этого вопроса нам следует помнить, что стационарная Вселенная соответствует совершенному космологическому принципу, а остальные нет. Это означает, что мы легко могли бы разрешить задачу, если бы имели возможность переместиться во времени. Если бы общий вид Вселенной со временем не изменился, если бы галактики в прошлом не были ни моложе, ни ближе расположены друг к другу, а в будущем не удалились бы друг от друга еще больше и не состарились бы, это значительно укрепило бы позиции стационарной Вселенной. Если же картина оказалась бы обратной, укрепились бы позиции либо пульсирующей, либо гиперболической Вселенной — какой именно, мы узнали бы по степени вызванных временем изменений.

Конечно, если наши потомки просуществуют еще несколько миллиардов лет и сохраняют преемственность культур, они окажутся в этом далеком будущем и смогут сделать правильный выбор, однако астрономы хотели бы найти ответ уже сейчас, и их вряд ли можно осудить за такое желание.

Следовательно, нам нужна возможность путешествия во времени, и одна такая возможность у нас есть.

Когда мы говорим, что галактика Андромеды находится от нас на расстоянии в 2 300 000 световых лет, это означает, что свету требуется 2 300 000 лет, чтобы преодолеть расстояние, отделяющее ее от нас. Когда мы наблюдаем Андромеду либо невооруженным глазом, либо с помощью каких-нибудь инструментов, мы видим свет, который покинул Андромеду 2 300 000 лет назад, и она представляется нам не такой, какова она сейчас, а такой, какой была 2 300 000 лет назад. Изучая галактику Андромеды, мы в сущности оказываемся путешественниками во времени, которые вернулись на 2 300 000 лет назад.

Чем дальше мы проникаем в космос, тем больше времени требуется свету, чтобы добраться до нас, и тем дальше отодвигаемся мы назад во времени. Наши лучшие оптические телескопы (насколько это было известно в 50-х годах) показывают объекты, удаленные на 1—2 миллиарда световых лет, и, глядя на них, мы видим эту область Вселенной такой, какой она была 1—2 миллиарда лет назад.

Если теория стационарной Вселенной верна, то такое различие во времени не должно иметь никакого значения. Один-два миллиарда лет назад Вселенная имела бы точно те же свойства, что и теперь. Галактики, которые мы наблюдаем на пределе возможностей наших телескопов, должны были находиться не ближе и не дальше друг от друга, чем они находятся теперь, и удаляться друг от друга они должны были с той же скоростью; короче говоря, в целом они ничем не должны отличаться от галактик, которые мы видим по соседству с нами.

Если верна теория пульсирующей или гиперболической Вселенной, то разница во времени должна привести к значительным переменам и дальние области Вселенной должны какими-то важными свойствами отличаться от соседних с нами.

Например, очень отдаленные галактики должны быть моложе соседних с нами, богаче водородом, расположены ближе друг к другу и расходятся с большей скоростью (поскольку сила взрыва тогда еще не была ослаблена медленным и непрерывным прогнывающим действием силы тяготения). Кроме того, поскольку эти области

представляют юность Вселенной, они могут включать объекты, которых уже нет по соседству с нами, объекты, характерные только для молодой Вселенной. Далее, изучая степень, в которой проявляются эти различия, мы

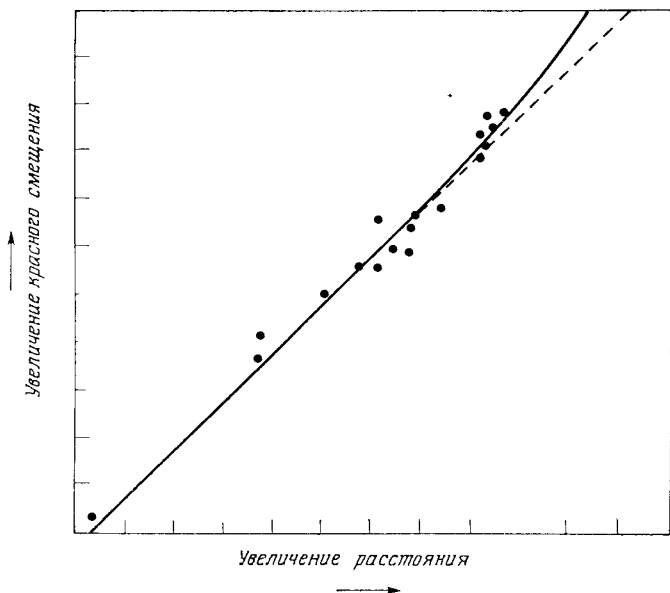


Рис 35 Красное смещение на больших расстояниях. В стационарной Вселенной линия была бы прямой на всем своем протяжении.

можем решить, какая именно Вселенная, пульсирующая или гиперболическая, более отвечает фактам.

Такое рассуждение кажется достаточно логичным, но в действительности этот путь полон обескураживающих разочарований. Чем дальше от нас объект, который мы изучаем, тем больше у нас шансов сделать правильный выбор между возможными моделями Вселенной, но чем дальше от нас объект, который мы изучаем, тем труднее узнать о нем хоть что-нибудь.



Самое большее, что можно было сделать к середине 50-х годов, это изучить красное смещение наиболее отдаленных галактик. В стационарной Вселенной постоянная Хаббла должна быть одинакова для любого времени, а следовательно, и для любых расстояний. В пульсирующей или гиперболической Вселенной постоянная Хаббла должна с течением времени уменьшаться, а в юности Вселенной быть очень большой. В таком случае самые дальние галактики, представляющие эту юность, должны удаляться быстрее, чем мы ожидаем, и обладать более значительным красным смещением. В 1956 г. как будто действительно было обнаружено такое избыточное красное смещение, и это стало доводом против существования стационарной Вселенной. Однако избыточные красные смещения столь редки, а наблюдение их представляет такие трудности, что эти данные нельзя было считать достаточными для окончательных выводов. Требовалось что-нибудь более верное. Но что?

Для ответа на этот вопрос мы должны обратиться к тем отраслям современной астрономии, которые не зависят от видимого света. Видимый свет нас подводит, но другие формы проявления Вселенной могут оказаться надежнее.

# Бомбардировка частицами

## *Частицы, лишённые массы*

Все сведения, которыми мы располагаем о Вселенной, лежащей вне самой Земли, мы получаем благодаря частицам, испускаемым космическими телами, эти частицы преодолевают разделяющее нас пространство и попадают на Землю. На Земле они вступают во взаимодействие с уже имеющимися на ней частицами, и результаты этого взаимодействия воспринимаются нашими органами чувств.

Все это только более сложный способ сказать, что далекие звезды и галактики испускают свет (это наиболее обычный и чаще всего приводимый пример), который мы можем видеть, разлагать с помощью спектроскопа и запечатлеть на фотографической пленке.

Правда, в XIX в свет считали скорее волнами, чем частицами. Однако в 1900 г. немецкий физик Макс Карл Эрнст Людвиг Планк (1858—1947) выдвинул квантовую теорию, согласно которой свет, да и все иные формы энергии состоят из отдельных крохотных «порций», названных Планком квантами. Эта теория была поддержана в 1905 г. Эйнштейном, и ученым становилось все яснее, что кванты в некоторых отношениях могут вести себя как частицы.

К 1920 г. было признано существование определенной двойственности. Все частицы обладали способностью в некоторых отношениях вести себя как волны, и все волны обладали способностью вести себя как частицы. Эти два качества обычно не были, так сказать, уравновешены. Например, свойства протона как частицы<sup>1)</sup>

---

<sup>1)</sup> Его корпускулярные свойства, от латинского слова «корпускула», означающего «частица» — *Прим ред*

выражены гораздо яснее и легче обнаруживаются, чем его волновые свойства, однако эти последние тоже существуют и при достаточно тщательном исследовании могут быть обнаружены. С другой стороны, волновые свойства обычного света выражены гораздо отчетливее его корпускулярных свойств, но он обладает и этими последними. Чем меньше длина световой волны, тем выше энергия отдельных квантов этого света и тем ярче выражены и легче обнаруживаются их корпускулярные свойства.

В 1923 г. американский физик Артур Холли Комптон (1892—1962), используя особо коротковолновый свет, убедительно продемонстрировал его корпускулярные свойства. Для этих световых частиц он придумал особое название «фотон» («фот» — от греческого слова «свет», а «он» — обычный суффикс в названиях субатомных частиц).

Следовательно, свет, благодаря которому мы видим Вселенную, можно рассматривать как ливень фотонов, низвергающийся на нас со всех сторон: прямой — от Солнца, звезд и галактик и отраженный — от Луны и планет. Взаимодействием этих фотонов с сетчаткой глаза и исчерпывалась вся астрономия до середины XIX в.

С тех пор мы расширили ее возможности не только тем, что заставили фотон воздействовать, кроме сетчатки глаза, еще и на фотографическую эмульсию, но и тем, что обнаружили существование многих иных частиц, помимо фотонов, и использовали также и их. Некоторые из этих частиц почти неуловимы, и я начну с самых неуловимых — с частиц, в некоторых отношениях похожих на фотоны.

Фотон обладает нулевой массой покоя. Иначе говоря, если бы его можно было остановить, у него не оказалось бы ни одного из свойств, связанных с массой. У него не было бы инерции, он не создал бы никакого поля тяготения и не реагировал бы на такие поля. Поэтому он считается частицей, лишенной массы.

Но это отсутствие массы — факт чисто теоретический, ибо остановить фотон нельзя. Едва возникнув, он начинает удаляться от места своего образования со ско-

ростью 300 000 км/сек<sup>1)</sup>. Пока фотон движется с этой скоростью, он проявляет некоторые свойства, связанные с массой, например он чуть-чуть реагирует на присутствие поля тяготения.

Физики выдвинули предположение о существовании по меньшей мере еще двух лишенных массы частиц: гравитона и нейтрино. Обе они, как и фотон, обладают массой покоя, равной нулю, но никогда не находятся в состоянии покоя. Все время своего существования они движутся только со скоростью света. По-видимому, это верно для всех лишенных массы частиц<sup>2)</sup>.

Фотон, гравитон и нейтрино не имеют электрического заряда, а поскольку к тому же у них нет и массы, то можно задать недоуменный вопрос. а как их вообще различают? Один отличительный признак состоит в том, что большинство субатомных частиц можно представить себе вращающимися вокруг своей оси по часовой стрелке либо против часовой стрелки. Поэтому момент количества движения, связанный с этим вращением, может быть выражен либо положительным, либо отрицательным числом. Физики создали единицу измерения этого момента, приписав фотону спин  $+1$  или  $-1$ . Для того чтобы объяснить на этой основе поведение других субатомных частиц, физики должны были приписать нейтрино спин  $+1/2$  или  $-1/2$ , а гравитону  $+2$  или  $-2$ . Одного этого достаточно, чтобы легко различать указанные три типа частиц.

Гравитон пока только предсказан теоретически — реально его обнаружить еще не удалось. Более того, его свойства, логически выведенные физиками, таковы, что он может так навсегда и остаться необнаруженным. Тем не менее физики думают, что поле тяготения возникает

---

<sup>1)</sup> Если он находится в пустоте. Если же он движется в прозрачной среде, отличной от пустоты, — в воздухе, воде или стекле, — то его скорость ниже и иногда значительно ниже. Однако ни при каких условиях фотон нельзя остановить совсем — он немедленно поглощается. Кроме того, стоит фотону из прозрачной среды вновь перейти в пустоту, как его скорость мгновенно опять достигает 300 000 км/сек.

<sup>2)</sup> С другой стороны, частицы, обладающие массой, даже самой крохотной, ни при каких условиях не могут двигаться со скоростью света. Они способны приближаться к ней, но никогда полностью ее не достигают.

именно благодаря испусканию и поглощению гравитонов.

Но если мы неспособны обнаружить гравитон непосредственно, мы все-таки можем обнаружить его косвенным образом, через воздействие полей тяготения, которые он создает. Так, обмен гравитонием между Луной, Солнцем и Землей создает приливы и заставляет Луну и Землю двигаться по их переплетенным орбитам вокруг Солнца. Обмен гравитонами между Солнцем и центром Галактики удерживает солнечную систему на орбите, по которой она величественно обращается вокруг невидимого галактического ядра.

Тяготение отдельных звезд вне солнечной системы и отдельных галактик за пределами нашей собственной Галактики воздействует на нас так слабо, что мы не можем его обнаружить, и, по всей вероятности, это так и останется на протяжении обозримого будущего.

Тем не менее мы можем кое-что узнать о нем благодаря проявлению взаимного притяжения между соседними звездами и соседними галактиками. Например, две звезды двойной системы обращаются друг вокруг друга в точном соответствии с ньютоновским законом тяготения, и с помощью этого закона можно определить соотношение масс обоих тел. Даже когда один из членов системы невидим, движение второго под воздействием гравитонов, испускаемых и поглощаемых невидимым телом, позволяет нам установить массу этого последнего. Именно так был обнаружен Сириус В.

Благодаря тяготению удавалось обнаруживать и гораздо меньшие тела. В 1943 г. группа ученых под руководством американского астронома голландского происхождения Петера Ван де Кампа (род. в 1901 г.) изучала движение звезды 61 Лебеда (см. стр. 53). Эта звезда на самом деле представляет собой двойную систему: 61 Лебеда А и 61 Лебеда В обращаются вокруг общего центра тяжести. Но движение одной из этих звезд показывало крохотное отклонение, и его оказалось достаточно, чтобы обнаружить присутствие тела с массой, равной примерно  $\frac{1}{120}$  массы Солнца. Подобная масса, лишь в 8 раз превышающая массу Юпитера, не может поддерживать ядерные реакции, достаточно энергичные для того, чтобы это тело можно было считать хотя бы карли-

ковой звездой. И новое тело — 61 Лебедя С — сочли планетой, хотя и гигантской: это была первая планета, открытая за пределами солнечной системы. С тех пор было открыто еще несколько подобных тел. В 1963 г. при внимательном изучении звезды Барнарда (см. стр. 45) были обнаружены легкие отклонения в ее собственном движении, которые указывают на присутствие планеты, лишь в полтора раза превосходящей по массе Юпитер.

Нейтрино по трудности обнаружения находится посередине между гравитоном и фотоном. В отличие от гравитона оно наблюдалось непосредственно, хотя обнаружить его много труднее, чем фотон.

Существование нейтрино было впервые теоретически предсказано в 1931 г. австрийским физиком Вольфгангом Паули (1900—1958), когда возникла необходимость объяснить некоторые виды взаимодействия субатомных частиц, которые иначе объяснению не поддавались. В течение четверти века нейтрино оставалось плодом научного воображения, и лишь в 1956 г. два американских физика, Клайд Лоррен Коуэн младший (род. в 1919 г.) и Фредерик Рейнс (род. в 1918 г.), разработали тончайший эксперимент<sup>1)</sup>, который ясно продемонстрировал чрезвычайно редкое взаимодействие нейтрино с протоном. Научные круги немедленно признали реальное существование нейтрино.

Нейтрино, обнаруженное в 1956 г., возникало при расщеплении урана в недрах ядерного котла, созданного человеком. Разумеется, в несравненно больших количествах нейтрино (несколько иного вида) возникают и в недрах звезд (см. стр. 204). Однако нейтрино обладают способностью беспрепятственно проходить через колоссальные массы вещества. Бесчисленные триллионы нейтрино, двигаясь со скоростью света, ежесекундно пронесаются сквозь Землю так, словно ее вовсе нет. И лишь в очень редких случаях отдельные нейтрино вступают во взаимодействие с частицами нашей планеты.

После 1956 г. были предприняты всевозможные попытки обнаружить эти рожденные Солнцем и звездами

---

<sup>1)</sup> Идея этого эксперимента принадлежит советскому физiku А. И. Лейпунскому — *Прим. ред.*

нейтрино. Рейнс, например, установил большой аппарат, сконструированный для их обнаружения, в южноафриканском золотом руднике на глубине 3 км. Может показаться странным, что небо изучают из такой дыры в земле, но ведь нейтрино способны легко проникать в нее (как и в любые недра Земли вплоть до ее центра), тогда как ни одна другая поддающаяся обнаружению частица этого сделать не может. В конце концов в 1965 г. после наблюдений, длившихся полгода, Рейнс сообщил, что обнаружил семь нейтрино (семь!).

Так начинается зарождающаяся нейтринная астрономия. Если в будущем методы обнаружения нейтрино станут более результативными, нам, вероятно, удастся узнать много ценного.

Нейтрино приходят к нам прямо из недр звезды, и, анализируя распределение их по энергиям, можно было бы непосредственно устанавливать температуру и другие свойства звездных недр, а не выводить их с большей или меньшей вероятностью из косвенных данных.

## *Космические лучи*

Гораздо эффектнее выглядит бомбардировка Земли частицами, имеющими массу.

Еще в 1900 г. физики-ядерщики изучали, как энергия, излучаемая радиоактивными атомами, выбивает электроны из атомов воздуха. Оставшаяся часть атома несла положительный электрический заряд, и эти заряженные обломки получили название положительных ионов.

Постепенно стало ясно, что как бы тщательно ни изолировали физики контрольную пробу воздуха, помещая ее в свинцовые ящики, считавшиеся непроницаемыми для радиации, ионы все равно продолжали медленно образовываться и в ней. По видимому, излучение еще более мощное, чем все обнаруженные ранее, проникало сквозь толщу свинца, который при обычных условиях был бы достаточной защитой.

Большинство физиков было убеждено, что это мощное излучение исходит от земли. Ведь все радиоактивные вещества в конечном счете добывались из земли. Для окончательного решения этого вопроса австрийский

физик Виктор Франц Гесс (1883—1964) начиная с 1911 г. провел серию подъемов на воздушном шаре. Он хотел проверить, имеется ли ионизирующее излучение на высоте в несколько километров над поверхностью Земли. Толща воздуха между поверхностью Земли и шаром должна была бы поглотить хотя бы часть этого излучения, и скорость образования ионов на воздушном шаре должна была бы оказаться меньше, чем на поверхности Земли.

Однако результат был как раз противоположным. Скорость ионизации увеличилась, и чем выше поднимался шар, тем больше она становилась. Стало ясно, что источник излучения находится не под шаром — на поверхности Земли, а над ним. Гесс назвал его высотным излучением. В течение следующего десятилетия наблюдения Гесса неоднократно подтверждались и выяснилось с полной очевидностью, что это излучение падает на Землю повсюду и что его источник должен находиться где-то в космическом пространстве. В 1925 г. американский физик Роберт Эндрюс Милликен (1868—1953) назвал его космическими лучами, и это название стало общепринятым.

Затем возник вопрос, что же, собственно, эти лучи собой представляют. Наиболее вероятными казались следующие два предположения: либо это фотоны с чрезвычайно высокой энергией, наиболее коротковолновые и, следовательно, обладающие наибольшей энергией из всех, когда-либо наблюдавшихся; либо это массивные частицы, движущиеся с чрезвычайно высокой скоростью и благодаря сочетанию этих двух факторов обладающие колоссальной энергией.

Все массивные частицы, известные в 20-х годах, обладали электрическим зарядом; должны были обладать им и космические лучи, если они принадлежали к той же категории. Отсюда следовало, что космические лучи, даже если они приближались к Земле со всех сторон, должны были тем не менее обрушиваться на полярные области с большей частотой, чем на тропики.

Это проистекало из того факта, что Земля ведет себя как магнит, северный и южный полюсы которого находятся в полярных областях, а силовые магнитные линии



протягиваются между севером и югом, огибая земной шар, расходясь шире всего в тропиках и сходясь теснее всего в полярных областях. Любая заряженная частица, входя в магнитное поле Земли, должна была отклониться к северу или к югу благодаря взаимодействию с магнитным полем, которое было уже хорошо известно физикам той эпохи. Некоторые космические лучи с особо высокой энергией могут буквально силой прорваться сквозь магнитное поле и попасть на Землю в тропиках (если таково было их первоначальное направление), но в целом количество космических лучей будет непрерывно возрастать по мере продвижения от экватора на север или на юг.

Фотоны же, не имеющие электрического заряда, не испытают практически никакого влияния магнитного поля Земли. Если бы космические лучи состояли из фотонов и приближались к Земле равномерно со всех сторон, они должны были попадать равномерно во все области земной поверхности.

Начиная с 1930 г. Комптон провел широкое изучение космических лучей в различных областях мира и обнаружил, что с изменением широты действительно наблюдается увеличение их интенсивности, причем именно такое, какого можно было бы ожидать, если бы лучи состояли из заряженных частиц.

Оставался еще неясным вопрос, положительно или отрицательно заряжены эти частицы. Итальянский физик Бруно Росси (род в 1905 г.) указал в 1930 г., что характер отклонения космических лучей должен меняться в зависимости от знака заряда. Положительно заряженные частицы будут отклоняться так, что наблюдателю покажется, будто их приближается больше с запада, чем с востока, а для отрицательно заряженных частиц картина будет обратной. К 1935 г. вывод был ясен: космические лучи состоят из положительно заряженных частиц.

Это, во всяком случае, верно для первичного излучения, т. е. излучения, еще не проникшего в земную атмосферу. Проникнув же в атмосферу, оно обрушивается на ее атомы, создавая различные частицы с меньшей, но все же очень высокой энергией — вторичное излучение.

Естественно, астрономов в основном интересует первичное излучение

Для того чтобы изучить первичное излучение, необходимо подняться по меньшей мере в стратосферу, чтобы большая часть взаимодействующих с ним и потому искажающих картину молекул воздуха осталась внизу.

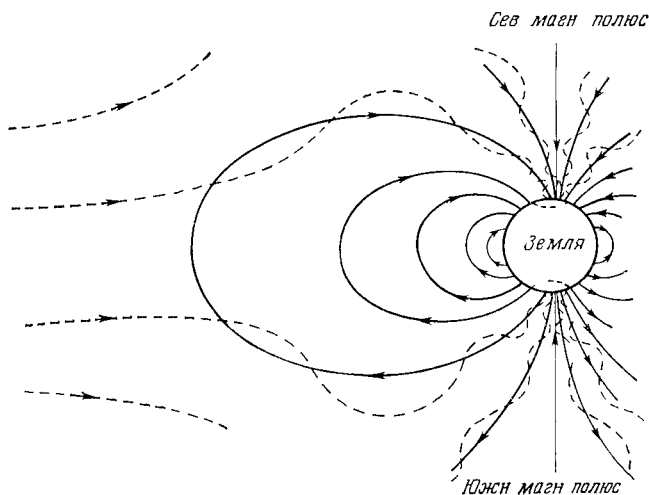


Рис 36 Земля как магнит Пунктирные линии — траектория заряженных частиц, сплошные — магнитные силовые линии

В конце 30-х годов для этой цели начали поднимать аппаратуру на воздушных шарах из новых полимерных материалов, более легких и прочных, чем прежние. Была достигнута высота 18 км; при этом ниже приборов остается 97% атмосферы.

Оказалось, что первичное излучение состоит в основном из протонов (ядер водорода-1), движущихся почти со скоростью света. К 60-м годам стало ясно, что протоны составляют примерно 90% всех частиц первичного излучения; 9% составляют ядра гелия-4, а оставшийся 1% — ядра более тяжелых элементов до железа-56 включительно.

Короче говоря, космические лучи — это обычное межзвездное вещество в состоянии стремительного движения, обладающее поэтому почти невероятной энергией

В последние годы физикам удалось построить огромные и чрезвычайно сложные ускорители частиц, которые способны ускорять отдельные частицы до энергии в 30 миллиардов электронвольт (30 Гэв)<sup>1)</sup>. Напомним для сравнения, что обычные фотоны света обладают энергией примерно в 2 электронвольта (2 эв).

Следовательно, человек может создавать протоны с энергией, в 15 миллиардов раз превосходящей энергию фотонов света, и эта энергия действительно приближается к уровням энергии космических лучей. (По этой причине создатели одного из гигантских ускорителей частиц назвали его космотроном.)

Тем не менее величайшие достижения человека соответствуют лишь самым низким энергиям космических лучей. Частицы многих космических лучей влетают в атмосферу Земли с энергией, во много раз превосходящей 30 Гэв; некоторые достигают нас, обладая энергией в 1 000 000 Гэв и больше

## *Источники космических лучей*

Но откуда берутся космические лучи? И что сообщает некоторым из них такую невероятную энергию?

Логически рассуждая, таким источником можно было бы считать Солнце. Но идея о Солнце как о главном их источнике была отброшена в самом начале, так как космические лучи приходят к Земле одинаково со всех сторон — с направления, противоположного Солнцу, в том же количестве, что и с направления от Солнца. Даже предположив, будто космические лучи, возникающие на Солнце, отклоняются магнитным полем Земли настолько, что некоторые оказываются на обратной ее стороне, все же невозможно представить себе, чтобы конечным результатом такого отклонения было столь равномерное их распределение по всей Земле. Следовательно, ис-

---

<sup>1)</sup> Построенный под Серпуховым крупнейший в мире ускоритель дает пучки частиц с энергией 76 миллиардов эв — *Прим ред*

точник их должен находиться где-то вне солнечной системы. Однако равномерное распределение космических лучей не давало возможности связать их с какими-либо конкретными объектами во Вселенной

И все же Солнце тоже нельзя было совсем сбрасывать со счета.

Солнце светит не абсолютно ровно и постоянно. На его поверхности возникают солнечные пятна — области с относительно более низкой температурой, которые поэтому на фоне более горячих и ярких соседних областей кажутся черными. Эти солнечные пятна связаны с магнитными полями, и энергия таких полей может проявляться в чрезвычайно бурной форме.

Одно из таких проявлений — это солнечные вспышки, внезапное увеличение яркости в области неправильной формы вблизи солнечного пятна. Первым о солнечной вспышке сообщил в 1859 г. английский астроном Ричард Кристофер Кэррингтон (1826—1875). Он полагал (в согласии с принятой тогда гипотезой Гельмгольца), что внезапная вспышка на Солнце была вызвана падением большого метеорита. Однако почти немедленно после его наблюдения поступили известия о странном поведении стрелки компаса, а полярные сияния стали особенно яркими.

С тех пор была твердо установлена связь между такими магнитными бурями и солнечными вспышками. Правда, бури порождаются не каждой вспышкой, а лишь такой, которая происходит более или менее в центре солнечного диска, а потому нацелена прямо на нас. Очевидно, гигантской энергии вспышки достаточно для того, чтобы выбросить в пространство значительное количество субатомных частиц. Поскольку вспышки и другие процессы, связанные с выделением энергии, происходят на поверхности Солнца постоянно, мы можем считать, что Солнце окружено облаком заряженных частиц высоких энергий, которые разлетаются во всех направлениях. Это солнечный ветер.

К 1958 г. эксперименты с ракетами доказали реальное существование этого солнечного ветра. Скорость, с которой поток частиц уносится от Солнца, может достигать  $720 \text{ км/сек}$ , и запасы кинетической энергии таких

частиц огромны. Еще десять лет назад, например, считалось, что хвосты комет обращены от Солнца из-за давления на составляющие их крохотные частицы солнечного света. По-видимому, это не так, и основная причина тут — солнечный ветер.

Естественно, заряженные частицы солнечного ветра, приближаясь к Земле, вступают во взаимодействие с ее магнитным полем. Как предсказал в 1957 г. греческий физик-любитель (а ныне профессиональный физик) Николай Христофилос, заряженные частицы, составляющие ветер, должны отклоняться магнитными силовыми линиями и двигаться вокруг них по спирали от северного магнитного полюса к южному и обратно, способствуя образованию вокруг Земли, далеко за пределами ее атмосферы, области повышенной плотности заряженных частиц, по форме напоминающей бублик. Сначала к этому отнеслись несерьезно (отчасти потому, что Христофилос был любителем), но в 1958 г. исследования с помощью ракет, проводившиеся под руководством американского физика Джеймса Альфреда Ван Аллена (род. в 1914 г.), доказали реальное существование таких областей. Их назвали радиационными поясами, а позже за ними закрепилось название области захваченной радиации<sup>1)</sup>.

Эта область под воздействием солнечного ветра приобретает каплевидную форму. В направлении Солнца у нее образуется пологое закругление, а с противоположной стороны вытягивается длинный хвост.

Направленная на нас солнечная вспышка вызывает местное усиление солнечного ветра, своего рода буран заряженных частиц, которые обрушиваются на нас и переполняют область захваченной радиации. Особенно обильно обрушиваются частицы на полярные области Земли, усиливая полярные сияния и так искажая магнитное поле, что стрелки компасов «сходят с ума». Однако с практической точки зрения в наши дни гораздо важнее тот факт, что солнечные вспышки изменяют свойства области верхней атмосферы, в которой при

<sup>1)</sup> Одновременно и независимо от американских работ захваченная радиация была открыта советскими исследователями (работы С. Н. Вернова и др.) — *Прим. ред*

обычных условиях велика концентрация электрических зарядов в форме ионов (эта область называется ионосферой). В результате магнитных бурь серьезно расстраивается работа радиоаппаратуры и вообще всех приборов, как-то связанных с использованием ионосферы.

Энергия частиц солнечного ветра, естественно, меняется в зависимости от размеров и силы вспышки. А если произойдет очень большая вспышка? Такая вспышка произошла в 1942 г., и за ней почти сразу последовало усиление потока космических лучей. С тех пор такие явления наблюдались не раз и стало ясно, что Солнце все-таки может служить одним из источников космического излучения, по крайней мере иногда. Эти солнечные космические лучи «мягкие», т. е. их энергия относительно низка: от 0,5 до 2 Гэв. Но суть дела от этого не меняется.

А может быть, космические лучи вообще возникают на звездах при вспышках или иных процессах? Возможно, пока космические лучи несутся через гигантские межзвездные пространства, местные магнитные поля снова и снова отклоняют их, так что уже ничего нельзя сказать об их первоначальном направлении. Тогда в конце концов направление их движения станет настолько случайным, что они будут поступать равномерно со всех сторон, не показывая возрастания интенсивности в плоскости Млечного Пути, где расположено большинство звезд<sup>1)</sup>

Этого объяснения не вполне достаточно. Если бы вклад всех звезд в создание космических лучей был одинаков, Солнце, которое намного ближе к нам, чем все остальные звезды, полностью затмевало бы их, как оно затмевает их свет. В этом случае поток космических лучей был бы гораздо интенсивнее со стороны Солнца, а на самом деле этого нет.

Отсюда следует, что некоторые звезды являются намного более мощными источниками космических лучей, чем Солнце. Например, существуют некоторые перемен-

---

<sup>1)</sup> Большинство звезд должно иметь магнитное поле, которое отклоняет космические лучи, пролетающие вблизи них, а, кроме того, теперь считается, что Галактика в целом имеет собственное слабое магнитное поле, которое, возможно, и препятствует исчезновению ее спиральных ветвей.

ные звезды, чьи изменения объясняются периодическими сериями больших вспышек. Возможно, такие «вспыхивающие звезды» являются очень мощными источниками И, конечно, не следует забывать о Сверхновых.

Поток космических лучей от таких необычных членов Галактики может полностью перекрыть ничтожные поступления от обычных звезд, в том числе и от близкого к нам Солнца.

Но это по-прежнему оставляет нерешенной проблему колоссальных энергий, которой обладают частицы космических лучей. Если Солнце способно придавать частицам энергию в  $1 \text{ Гэв}$ , не удивительно, что Сверхновые могут придавать им гораздо большие энергии, но миллиарды  $\text{Гэв}$ ? Ни одна из известных нам ядерных реакций даже в самой горячей и бешено пылающей Сверхновой как будто не способна производить частицы с такой энергией, какую имеют многие частицы космических лучей.

Однако должны ли эти частицы обладать такой энергией уже в момент образования? В 1951 г. американский физик, итальянец по национальности, Энрико Ферми (1901—1954) рассмотрел другую возможность. Предположим, что частицы космических лучей при своем возникновении обладают вполне скромным уровнем энергии в несколько  $\text{Гэв}$ , но что под воздействием магнитного поля Галактики движение этих частиц ускоряется и их энергия увеличивается.

Этот предполагаемый процесс аналогичен тому, который происходит в созданных человеком циклотронах — приборах, которые заставляют заряженные частицы нестись под воздействием магнитного поля по кругу, добавляя им при каждом обороте дополнительную энергию. По мере того как частицы накапливают энергию, магнитное поле отклоняет их все меньше и меньше, и в конце концов они уже не могут оставаться в камере циклотрона и «выстреливаются» наружу с высокими энергиями.

Напряженность магнитного поля, создаваемого человеком, намного выше, чем напряженность магнитного поля Галактики, но зато протяженность последнего исчисляется многими тысячами световых лет. Частицы

космических лучей ускоряются очень медленно, но за миллиарды лет они накапливают огромную энергию.

В любой точке своего полета такие космические частицы могут столкнуться с каким-нибудь препятствием вроде нашей планеты. Поэтому мы наблюдаем широкий спектр энергетических уровней частиц, так как энергия каждой данной частицы в значительной степени зависит от того, как долго она неслась в пространстве, прежде чем столкнулась с нами. Чем дольше был предшествовавший полет, тем выше уровень энергии в момент столкновения.

Однако по мере того, как космическая частица накапливает энергию, она все меньше и меньше отклоняется под действием магнитного поля, и в конце концов траектория ее уже настолько близка к прямой, что не может вписаться даже в огромные просторы Галактики. Когда энергия такой частицы достигает сотен миллионов *Гэв*, она, так сказать, выстреливается из галактического циклотрона.

Следовательно, можно считать, что будь наша Галактика единственным источником космических лучей, мы не могли бы обнаружить частиц с энергией выше 100 миллионов *Гэв*. Однако нам изредка удается обнаружить частицы с энергией по меньшей мере в 10 миллиардов *Гэв*. Можно предположить только, что частицы, обладающие такой сверхвысокой энергией, возникают в других галактиках, с более сильными магнитными полями, чем у нашей. Эти частицы, вышвырнутые за пределы породившей их галактики и благополучно избежавшие столкновения с каким-либо веществом, пересекают межгалактическое пространство, попадают в нашу Галактику — и ударяются о нас.



## ФОТОНЫ БОЛЬШОЙ ЭНЕРГИИ

### *Спектр электромагнитного излучения*

Но вернемся к фотонам. До 1800 г. человеку были известны только фотоны видимого света, которые он мог ощущать непосредственно. Длины волн такого света составляют от 0,000 076 см на красном конце видимого спектра до половины этой величины, т. е. до 0,000 038 см, на его фиолетовом конце. Энергия фотонов света обратно пропорциональна длине световой волны. Поскольку волна фиолетового света на пределе видимости вдвое короче волны красного света на пределе видимости, значит, фотоны фиолетового света обладают вдвое большей энергией, чем фотоны красного света. Энергия фотонов видимого света составляет от 1,5 электронвольт (эв) на красном конце спектра до 3,0 эв на фиолетовом его конце.

В начале XIX в. было открыто инфракрасное и ультрафиолетовое излучение (см. стр. 82). Энергия инфракрасных фотонов была, разумеется, ниже 1,5 эв, а ультрафиолетовых фотонов — выше 3,0 эв.

Но как далеко простирается инфракрасная область спектра в направлении убывания энергии, а ультрафиолетовая — в направлении ее возрастания, оставалось неизвестным.

Однако в 1861 г. шотландский физик Джеймс Кларк Максвелл (1831—1879) разработал общую теорию электричества и магнетизма, в которой показал тесную и неразрывную связь этих двух видов энергии (поэтому можно говорить об электромагнитном поле, объединяя эти два вида энергии). Он, кроме того, доказал, что периодические колебания напряженности такого поля порождают нечто вроде волны, удаляющейся от источника

колебаний со скоростью света. Более того, и самый свет он считал формой такого электромагнитного излучения.

Поскольку электромагнитное поле может обладать любым периодом колебаний, длина волны электромагнитного излучения тоже может быть любой. Следовательно, должны существовать электромагнитные излучения с волнами, намного более длинными, чем волны инфракрасного света, и намного более короткими, чем волны ультрафиолетового света.

Подтверждения этого предсказания ждать долго не пришлось. В 1888 г. немецкий физик Генрих Рудольф Герц (1857—1894) получил электромагнитные волны колоссальной по сравнению со световыми длины. Такое излучение (названное сначала волнами Герца) стало служить для радиотелеграфного сообщения, т. е. для передачи сообщений не с помощью электрического тока, идущего по проводам, а с помощью волн, излучаемых в пространство. Естественно было бы ожидать, что подобное излучение получит название «радиотелеграфные волны», но в употребление вошла сокращенная форма «радиоволны».

В 1895 г. немецкий физик Вильгельм Конрад Рентген (1845—1923) обнаружил излучение, которое оказалось по своей природе электромагнитным, но имело чрезвычайно короткую длину волны. Поскольку его природа сначала была неясна, его называли икс-лучами, но позже эти лучи были названы рентгеновскими.

Три разновидности излучения радиоактивных веществ (открытые в 1896 г. Беккерелем) Резерфорд назвал по первым трем буквам греческого алфавита альфа-лучами, бета-лучами и гамма-лучами. Как оказалось, гамма-лучи тоже имели электромагнитную природу — это была форма излучения с длиной волны даже еще меньшей, чем у рентгеновских лучей.

Итак, к началу XX в. в распоряжении физиков оказался колоссальный электромагнитный спектр, охватывающий около 60 октав, т. е. длина волны от самой малой из известных до самой большой удваивалась 60 раз. Таким образом, самые длинные волны были длиннее самых коротких в  $2^{60}$  раз, т. е. примерно в 1 000 000 000 000 000 000 (миллиард миллиардов) раз.

Видимый свет занимал всего лишь одну октаву этого огромного диапазона.

Электромагнитный спектр непрерывен, и между соседними видами излучения нет никаких разрывов. Границы, установленные человеком, чисто условны и зависят от его способности непосредственно воспринимать лишь незначительную часть спектра, а также от случайного порядка, в котором делались открытия за пределами этой части. Обычно эти произвольные границы выражаются в длине волны или в частоте (количестве волн данной длины, производимых за секунду). Я же определю их здесь через энергию составляющих их фотонов — величину, прямо пропорциональную частоте.

Электромагнитное излучение с самыми длинными волнами (и, следовательно, состоящее из фотонов с наиболее низкими энергиями) — это радиоволны. Радиоволны в широком смысле охватывают фотоны с энергией 0,001 эв и меньше. Этот диапазон оказался чрезмерно большим, и для удобства его часто делят на три области: длинные, короткие и ультракороткие радиоволны. Последние часто называются микрорадиоволнами. Энергия их фотонов такова:

длинные радиоволны от 0 до 0,000 000 001 эв,  
короткие радиоволны от 0,000 000 001 до 0,000 01 эв,  
ультракороткие волны от 0,000 01 до 0,001 эв

Инфракрасную область в свою очередь можно подразделить на дальнюю, среднюю и ближнюю — в порядке уменьшения длины волны и возрастания энергии фотонов:

дальняя инфракрасная область от 0,001 до 0,03 эв,  
средняя инфракрасная область от 0,03 до 0,3 эв,  
ближняя инфракрасная область от 0,3 до 1,5 эв

Видимая область, как указывалось выше, лежит в диапазоне от 1,5 до 3,0 эв. В соответствии с цветом энергия распределяется так (в среднем).

красный 1,6 эв,  
оранжевый 1,8 эв,  
желтый 2,0 эв,  
зеленый 2,2 эв,  
синий 2,4 эв,  
фиолетовый 2,7 эв.

Электромагнитное излучение, фотоны которого обладают большей энергией, чем фотоны видимого света, включает ближнюю ультрафиолетовую область, далекую ультрафиолетовую область, рентгеновские лучи и гамма-лучи:

ближняя ультрафиолетовая область	от 3 до 6 эв,
дальняя ультрафиолетовая область	от 6 до 100 эв,
рентгеновские лучи	от 100 до 100 000 эв,
гамма-лучи	более 100 000 эв.

### Нейтронные звезды

Естественно, встает вопрос, какую часть этого электромагнитного спектра охватывают спектры Солнца и звезд. Несомненно, солнечный спектр не ограничен октавой видимого света — ведь и инфракрасные и ультрафиолетовые лучи были сначала открыты именно в солнечном спектре.

Но продвинуться за концы видимого спектра мы можем только до очень резко определенной границы — во всяком случае, на Земле. Атмосфера, вполне прозрачная для видимого света, абсолютно непроницаема для электромагнитного излучения почти всех других диапазонов. Возможно, солнечное излучение в дальней инфракрасной и дальней ультрафиолетовой областях очень мощно — оно все равно не может пробиться к нам через воздушное одеяло толщиной в десятки километров, и с этим фактом приходилось мириться почти до середины XX в.

Однако к середине XX в. атмосфера благодаря развитию техники перестала быть непроницаемым барьером. Самолеты начали забираться в стратосферу и оставаться там часами; воздушные шары могли подниматься еще выше и оставаться на этой высоте сутками; ракеты и спутники вообще уходили за пределы атмосферы и оставались там недели, месяцы, даже годы.

Астрономические наблюдения, производившиеся в стратосфере и за ее пределами, имели то преимущество, что для них можно было использовать фотоны со всем диапазоном энергий, а не только те немногие их разновидности, которые способны без особенных помех проникать на дно воздушного океана, где мы живем.

Например, в 1954 г с помощью поднятого на воздушном шаре телескопа была изучена инфракрасная часть света, отражаемого Венерой. Линии поглощения в инфракрасном спектре этой планеты совершенно ясно показали, что в ее облаках присутствуют кристаллы льда и, следовательно, вполне вероятно, что они состоят из водяных паров. С поверхности Земли безошибочно установить такой факт трудно или вообще невозможно, поскольку соответствующая часть спектра оттуда совершенно недоступна наблюдению, а любые признаки присутствия воды в атмосфере Вечеры, имеющиеся в видимой на Земле части ее спектра, неизбежно маскируются водяными парами собственной атмосферы Земли.

И фотографии Солнца, сделанные с высотных воздушных шаров, получаются гораздо более четкими, чем сделанные с поверхности Земли. Солнечный спектр удалось проследить далеко в ультрафиолетовый диапазон, а после появления ракет удалось обнаружить и отождествить тысячи линий поглощения, которые с Земли остались бы невидимыми.

В 1949 г. совершенно неожиданно оказалось, что солнечный спектр заходит в диапазон рентгеновских лучей гораздо дальше, чем можно было предположить. Как правило, чем выше температура тела, тем больше фотонов большой энергии оно испускает. Собственно говоря, это было доказано еще Вином (см стр 147) в дни, когда о существовании фотонов даже не подозревали. А поверхность Солнца, без сомнения, недостаточно горяча, чтобы испускать рентгеновские лучи.

Температура поверхности Солнца равна  $6000^{\circ}\text{C}$ , и, следовательно, максимум его излучения находится в области видимого света, а основная масса испускаемых его поверхностью фотонов должна обладать энергией порядка нескольких электронвольт. Для испускания большого количества фотонов рентгеновских лучей с энергией в сотни и даже тысячи электронвольт требовались значительно более высокие температуры. На поверхности спокойного Солнца таких температур не наблюдалось, но они имелись в солнечной короне (его разреженной атмосфере). Ее частицы под влиянием ударных волн из нижних слоев атмосферы приобретали чрезвычайно высокие

скорости Энергия, придаваемая этим частицам, была эквивалентна температуре по меньшей мере в  $500\,000^\circ\text{C}$ . В момент же солнечной вспышки температура короны в этом месте поднималась до нескольких миллионов градусов.

Конечно, хотя отдельные частицы короны обладали чрезвычайно высокими энергиями, общая энергия, испускаемая короной, была очень невелика, так как количество этих частиц относительно мало. Поэтому жар короны не представляет для Земли никакой опасности. (Собственно говоря, есть основания полагать, что внешние языки короны тянутся от Солнца далеко за пределы земной орбиты, так что в некотором смысле Земля обращается вокруг Солнца внутри его атмосферы, но это не оказывает на нее какого-либо заметного воздействия.)

Источником солнечных рентгеновских лучей как раз и являются корона и вспышки. Именно благодаря огромным скоростям частиц в этих областях, эквивалентным очень высоким температурам, атомы и теряют столько электронов, что возникают абсолютно новые спектральные линии, которые прежде приписывались новому элементу корониию (см стр. 160).

Были проведены поиски и других источников фотонов большой энергии, помимо Солнца. Фотоны большой энергии имеют одно огромное преимущество перед космическими лучами, также обладающими высокой энергией. Фотоны не заряжены, и потому магнитные поля на них не действуют и не отклоняют их траекторий. Поэтому источники фотонов возможно отождествить — во всяком случае, можно определить направление, с которого эти фотоны приходят. В 1956 г. и позже были открыты области неба, особенно богатые ультрафиолетовым излучением, и оказалось, что наиболее мощное излучение приходит из созвездий Ориона и Девы.

В Орионе излучение большой энергии, казалось, было связано со светящимися туманностями, которые окружают наиболее горячие звезды. В некоторых отношениях эти туманности похожи на чрезвычайно протяженные короны, разогретые энергией находящихся внутри них звезд, так же как солнечная корона получает свою энергию от Солнца.

И вновь фотоны рентгеновских лучей преподнесли сюрприз. Солнце излучало их и тогда, когда не было вспышек, хотя и в незначительном количестве. Солнечные рентгеновские лучи удалось обнаружить только потому, что Солнце очень близко к нам. Если остальные звезды были в этом отношении похожи на Солнце, то их рентгеновские лучи не смогли бы добраться до нас через гигантские межзвездные просторы.

Тем не менее группа исследователей, в частности Бруно Росси, попыталась установить, не отражаются ли солнечные рентгеновские лучи от Луны (поверхность которой в отличие от земной не защищена атмосферой). Специальные ракеты с аппаратурой для рентгеновских лучей сумели в 1962 г. обнаружить такие лучи, но они приходили не от Луны, а откуда-то из центра Галактики.

В следующем году запуски ракет предприняла группа под руководством американского астронома Герберта Фридмана (род в 1916 г.). Они намеревались отыскать в небе источники рентгеновских лучей и как можно точнее засечь их местоположение. В следующие два-три года таким способом было обнаружено около десятка областей — источников рентгеновских лучей. Наиболее мощные источники были обнаружены в созвездии Скорпиона, и, возможно, именно это обмануло приборы при первом запуске 1962 г. Этот источник не связан ни с каким видимым объектом.

Второй источник, в восемь раз менее мощный, чем источник в Скорпионе, находится, видимо, в Крабовидной туманности<sup>1)</sup>.

Чрезвычайно интересно было бы установить природу объектов, излучающих рентгеновские лучи столь мощно, что их удается обнаружить на расстоянии во много световых лет. Это опять говорило о температуре в миллионы градусов, но общая энергия таких источников должна была во много раз превышать общую энергию сол-

---

<sup>1)</sup> Ко многим замечательным свойствам Крабовидной туманности добавилось еще одно. В 1964 г. зонды-детекторы космических лучей показали рост их интенсивности, когда в поле их зрения попадала Крабовидная туманность. Если это не случайное совпадение, значит, Крабовидная туманность — единственный достоверно известный источник космических лучей, не считая Солнца.

нечной короны. Впечатление было такое, словно мы имеем здесь дело непосредственно с обнаженными ядрами звезд.

Подобные температуры могли возникать при катастрофическом сжатии, далеко превосходящем по масштабам даже то, при котором Сверхновая превращается в белого карлика. Вырожденное вещество, из которого состоит белый карлик, состоит из протонов, нейтронов и электронов. Важнейшей его составной частью являются электроны. Они крупнее, чем протоны и нейтроны, а потому больше них сопротивляются сжатию. Если масса белого карлика не превышает 1,4 массы Солнца (см стр. 202), звезда благодаря электронам может сохранять размеры, близкие к размерам планет, несмотря на чудовищную силу ее поля тяготения. Но если масса белого карлика превышает 1,4 массы Солнца, то даже электроны не могут сопротивляться силе еще более могучего поля тяготения.

Обычная звезда с массой больше 1,4 массы Солнца вспыхивает как Сверхновая и теряет большую часть своей массы; и чаще всего можно ожидать, что оставшаяся масса окажется меньше того критического предела, при котором уже возможно образование белого карлика. А если этого не случится?

В этом случае сжатие не останавливается на стадии белого карлика. Оно продолжается, электроны сливаются с протонами, образуя нейтроны, и все вещество превращается в единую массу спрессованных нейтронов. Такая нейтронная звезда вместит массу двух солнц в шар с диаметром в два десятка километров. Шар этот будет состоять из нейтрония, или гамовского «илема». Он станет крошечным кусочком субстанции, из которой, по мнению сторонников теории Большого Взрыва, состояло «космическое яйцо». Поэтому самое существование таких нейтронных звезд было бы косвенным подтверждением теории Большого Взрыва.

Теоретики считают, что некоторое время после своего образования нейтронная звезда должна иметь по всему своему объему равномерную температуру примерно  $10\,000\,000^\circ\text{C}$ . Вследствие этого она начнет излучать гигантский поток рентгеновских лучей и окажется, таким



образом, самым мощным их источником. Такая нейтронная звезда будет одновременно и рентгеновской звездой.

Если бы источниками рентгеновского излучения действительно были нейтронные звезды, то эти источники должны были бы сосредотачиваться в плоскости Млечного Пути. Там и были открыты первые источники рентгеновского излучения. Однако к 1966 г. было открыто по крайней мере два новых источника связанных, по-видимому, с галактиками Лебедь А и М 87. Это были первые рентгеновские галактики, и обе они, кроме того, излучают радиоволны. Число доступных для обнаружения рентгеновских галактик во Вселенной может достигать 10 000.

Вопрос о существовании нейтронных звезд желательнее было бы решить с помощью наблюдений. Если источник рентгеновского излучения — действительно нейтронная звезда, то оно должно исходить из точки в пространстве. Если тело с диаметром в каких-нибудь 20 км находится от нас, как Крабовидная туманность на расстоянии в тысячи световых лет, то даже самый чувствительный прибор, какой мы можем создать, покажет нам это тело в виде точки. С другой стороны, если рентгеновские лучи испускаются относительно протяженной областью пространства, то их источником скорее всего является турбулентное скопление газа и пыли, а предположение о существовании нейтронных звезд становится сомнительным. (Однако и в этом случае его нельзя считать полностью опровергнутым, ибо такое скопление газа и пыли может окружать нейтронную звезду и испускать рентгеновские лучи вместе с ней.)

Определить протяженность источника рентгеновского излучения удалось благодаря любопытной астрономической случайности. Крабовидная туманность расположена так, что ее периодически закрывает (затмевает) Луна. Когда Луна проходит перед ней, рентгеновское излучение может оборваться сразу (если оно исходит из точечного источника) или же будет убывать постепенно (если источник протяженный).

В 1964 г. Луна должна была затмить Крабовидную туманность. Если бы астрономы пропустили этот случай, следующего им пришлось бы ждать восемь лет. Но груп-

на Фридмана успела запустить ракету вовремя и все приборы благополучно сработали. Оказалось, что поток рентгеновских лучей иссякал постепенно и источником их, по видимому, была область в центре Крабовидной туманности поперечником примерно в 1 световой год.

Еще более серьезный удар гипотезе пейтронных звезд был нанесен в том же 1964 г., когда новые расчеты показали, что нейтронная звезда уже через несколько недель после возникновения должна была бы остыть настолько, что больше не смогла бы испускать рентгеновские лучи. Шансы же обнаружить нейтронную звезду за тот короткий период, пока она еще испускает рентгеновские лучи, настолько ничтожны, что их вообще можно не учитывать.

Таким образом, в настоящее время представляется более вероятным, что рентгеновское излучение возникает в результате тех же процессов (только протекающих в несравненно больших масштабах), которые происходят в солнечной короне. Это кажется вполне правдоподобным в отношении Крабовидной туманности, где еще дает себя чувствовать бешеная ярость Сверхновой, но как быть с другими источниками рентгеновского излучения, где нет признаков столь бурных процессов?

Тут на сцену выступает теория стационарной Вселенной. Я указывал выше (стр. 269), что она допускает непрерывное творение атомов водорода ( $1$  протон +  $1$  электрон) или нейтронов. В первом случае атомы водорода занимают свое место во Вселенной без дальнейших изменений (пока они не окажутся в недрах звезды). Это теория холодной стационарной Вселенной. Если же создаются нейтроны, то, едва возникнув, они уже через несколько минут распадаются на протоны и электроны, высвобождая энергию. Это теория горячей стационарной Вселенной.

Энергии, излучаемой при распаде нейтронов, может быть вполне достаточно для возникновения рентгеновских лучей во всем пространстве; она могла бы по неизвестным нам причинам скапливаться в определенных областях, которые и стали бы источниками рентгеновского излучения, открытого в 60-х годах. К несчастью, самые точные расчеты показывают, что общий рентге-

новский фон, создаваемый горячей стационарной Вселенной, должен был бы по крайней мере в 100 раз превышать существующий. Следовательно, в настоящее время гипотеза горячей стационарной Вселенной должна быть отброшена: если стационарная Вселенная и существует, то это холодная стационарная Вселенная.

А при этом, разумеется, остается без ответа вопрос о природе рентгеновского излучения

## **Антивещество**

С помощью установленных на спутниках приборов в космическом пространстве были обнаружены также фотоны гамма-лучей, энергия которых еще выше, чем энергия рентгеновских лучей. В 1961 г. приборы спутника «Эксплорер-11» зарегистрировали 22 таких фотона. Направление, откуда они появляются, не обязательно совпадает с плоскостью Млечного Пути, и поэтому был сделан вывод, что они прилетают к нам из других галактик. В 1965 г. был обнаружен первый точечный источник гамма-лучей, так что теперь мы будем иметь дело с гамма-звездами.

Естественно, надо попробовать найти источник этих гамма-лучей. Они, по-видимому, редки, так что незачем думать о крупном источнике — для их объяснения достаточно единичных процессов на субатомном уровне. Столкновение между космической частицей большой мощности и любым атомным ядром вызовет ряд реакций, в числе продуктов которых будут и гамма-лучи. Следовательно, гамма-лучи, которые мы обнаруживаем, могут быть, так сказать, памятниками на могиле космической частицы.

Существует и другая, более эффектная возможность. Однако чтобы объяснить ее, требуется некоторое предположение. К 1932 г. было известно три вида субатомных частиц: протон (с большой массой и положительным зарядом), нейтрон (с большой массой и без заряда) и электрон (с малой массой и отрицательным зарядом). Из них состоят атомы, а из атомов состоит вещество.

Однако в 1930 г. английский физик Пол Адриен Морис Дирак (род в 1902 г.), опираясь на чисто теорети-

ческие соображения, выдвинул идею, что у каждой частицы должна существовать античастица. Основные свойства этих античастиц должны быть обратными свойствам соответствующих частиц.

Так, эквивалентом отрицательно заряженного электрона будет антиэлектрон, во всем ему подобный — только заряд у антиэлектрона будет положительный и равный отрицательному заряду электрона. Точно так же положительно заряженному протону должен противостоять отрицательно заряженный антипротон. Нейтрон не имеет заряда, но он обладает магнитным полем, ориентированным в определенном направлении. Ему будет противостоять нейтральный антинейтрон, магнитное поле которого ориентировано в противоположном направлении.

Сначала это предположение показалось чересчур смелым, однако в 1932 г. американский физик Карл Дэвид Андерсон (род. в 1905 г.), изучая космические лучи, открыл антиэлектрон. Он назвал его за положительный заряд позитроном, и это название прижилось, хотя «антиэлектрон» было бы более точным. Антипротон и антинейтрон были обнаружены в 1956 г.

Античастицы обладают всеми свойствами частиц (с учетом их зеркальности) и способны на все, на что способны частицы. Если протоны и нейтроны могут объединяться, образуя атомные ядра, то ничто не мешает антипротонам и антинейтронам объединяться в антиядра. И действительно, в 1965 г. в Брукхейвене была получена комбинация 1 антипротон + 1 антинейтрон. Поскольку протон и нейтрон создают ядро водорода-2, или дейтерия, их комбинация называется дейтроном. Следовательно, комбинация антипротона и антинейтрона дает антидейтрон.

Атомное ядро может окружить себя электронами, образуя нейтральный атом, и атомное антиядро может окружить себя антиэлектронами (позитронами), образуя нейтральный антиатом. И как атомы образуют вещество, так антиатомы образуют антивещество.

Трудность лабораторного получения такого антивещества объясняется неустойчивостью античастиц. Предоставленные сами себе, античастицы были бы столь же

устойчивы, как и те частицы, которым они соответствуют. Но они не предоставлены сами себе. Образующаяся античастица оказывается в мире обычных частиц, она одинока в безграничном океане своих антагонистов

Когда образуется антиэлектрон, то его столкновение с электроном — лишь вопрос времени (одной миллионной доли секунды или еще меньше). В результате происходит аннигиляция заряды взаимно уничтожаются, а общая масса пары преобразуется в энергию фотонов. То же происходит и при столкновении протона и антипротона <sup>1)</sup>.

Аннигиляция частиц и античастиц представляет собой новый и небывало мощный источник энергии. Наиболее могучие из ядерных реакций, например та их цепь, в результате которой водород в недрах звезды превращается в железо, приводят к потере всего лишь около 1% массы. При аннигиляции же вещества и антивещества в энергию превращается вся масса. Следовательно, при аннигиляции высвобождается в 100 раз больше энергии, чем при соединении ядер равной массы.

Существует и обратный процесс. Гамма-частица с достаточно высокой энергией может превратиться в пару электрон — антиэлектрон (этот процесс, теоретически предсказанный уже давно, удалось, наконец, наблюдать в 1965 г.).

Но тут возникает затруднение. Результаты тщательнейших наблюдений дают основания полагать, что существует закон сохранения электрического заряда. Отрицательный электрический заряд не может быть ни создан, ни уничтожен, так же как и положительный электрический заряд. Произойти может только следующее равные количества положительного и отрицательного заряда могут взаимно аннигилировать и превратиться в фотоны гамма-лучей. Точно так же положительные и отрицательные заряды могут возникнуть в равных количествах из фотонов гамма-лучей, но возникновение элек-

---

<sup>1)</sup> Это не совсем так. При столкновении протона с антипротоном (или нейтрона с антинейтроном) сначала образуются так называемые пи мезоны (они бывают положительные, отрицательные и нейтральные), которые, распадаясь, превращаются в электроны, позитроны, гамма-лучи и нейтрино — *Прим. ред*

трического заряда одного какого-то знака невозможно.

Но в таком случае, почему мы окружены Вселенной, состоящей из вещества без каких-либо заметных признаков антивещества? Ведь во всяком процессе возникновения частиц должны были бы возникать и античастицы, причем в точно таком же количестве.

С другой стороны, откуда нам известно, что мы живем во Вселенной, состоящей только из вещества?

Мы можем быть уверены, что Земля состоит исключительно из вещества без каких-либо заметных примесей антивещества, так как антивещество немедленно вступило бы во взаимодействие с веществом и исчезло бы во вспышке гамма-лучей. Луна также состоит из вещества, это доказывается уже тем фактом, что при посадке на нее изготовленных человеком ракет не возникало колоссального взрыва. Из вещества состоят и метеориты<sup>1)</sup>, так же как и Солнце — ведь солнечный ветер состоит в основном из частиц, а не из античастиц. Поэтому можно с уверенностью сделать вывод, что солнечная система состоит из вещества.

Поскольку космические лучи также состоят почти исключительно из частиц, а не из античастиц, мы можем даже сказать, что наша Галактика (а может быть, и ближайшие к нам иные галактики) — это тоже вещество.

Но в таком случае как же можно объяснить это отсутствие антивещества?

Рассмотрим модель стационарной Вселенной. Если происходит непрерывное творение атомов водорода (протонов и электронов), то почему одновременно не происходит творения того же количества антиатомов водорода (антипротонов и антиэлектронов)? Если происходит непрерывное творение нейтронов, которые затем распадаются на протоны и электроны, то почему не происходит непрерывного творения равного количества антинейтронов, которые распадались бы на антипротоны и антиэлектроны?

Нам неизвестна причина, которая могла бы вызвать у природы такое предпочтение к веществу, а все данные,

<sup>1)</sup> Наличие больших метеоритных воронок, в которых оказывается мало метеоритного вещества, наводит на мысль, что изредка на Землю все таки попадают метеориты из антивещества

собранные до сих пор физиками, указывают, что такого предпочтения вообще не может быть

Существует, конечно, возможность, что и вещество, и антивещество действительно создаются непрерывно, но этот процесс каким-то образом регулируется так, что они создаются в разных местах. Атом, возникший тут, может уравниваться антиатомом, одновременно возникающим там. И возможно, существуют галактики из вещества и галактики из антивещества, или, говоря короче, галактики и антигалактики.

Если это так, то не можем ли мы отличить галактику от антигалактики?

Во всяком случае, этого, видимо, нельзя сделать по излучаемому ею свету. Фотон является античастицей самому себе, так что вещество и антивещество производят фотоны, одинаковые по своей природе. Свет антигалактики ничем не отличается от света галактики

Вопрос о тяготении не так прост. Существует предположение, что внутреннее гравитационное взаимодействие вещества (и антивещества) выражается в притяжении, а гравитационное взаимодействие между веществом и антивеществом выразится в отталкивании. Гравитационного отталкивания наблюдать еще никому не приходилось, но, с другой стороны, пока еще ни разу не удавалось наблюдать антивещество в количествах, способных создать заметное поле тяготения, и этот вопрос следует считать нерешенным.

Если такое гравитационное отталкивание существует, оно должно наблюдаться между галактиками и антигалактиками. До сих пор его не наблюдали, и это, возможно, означает, что во Вселенной нет антигалактик. Но это может также означать, что такое отталкивание на межгалактических расстояниях чрезвычайно слабо и что оно существует, но пока либо еще не было замечено, либо было неправильно истолковано.

Больше надежд можно возложить на нейтрино. Галактики выбрасывают потоки нейтрино, а антигалактики — потоки антинейтрино. Если бы на небосводе удалось обнаружить богатые источники антинейтрино, мы, возможно, сумели бы обнаружить и антигалактики. Однако обнаружить нейтрино чрезвычайно трудно, и искусство

астрономов еще не достигло той степени, когда на это можно было бы твердо рассчитывать <sup>1)</sup>.

Кроме того, в антигалактиках должны были бы возникать космические античастицы. Нас, вероятно, может достичь лишь весьма малое их число, но и эти немногочисленные частицы чрезвычайно помогли бы ученым. На античастицы с энергией в миллиарды Гэв (которая необходима, чтобы космические лучи могли вырваться из своих галактик и пересечь отделяющее их от нас межгалактическое пространство) галактические магнитные поля не окажут почти никакого действия. Направление их прихода помогло бы нам обнаружить местоположение антигалактик.

Однако следует помнить, что галактики существуют не сами по себе, что их чудовищно много и что некоторые из них, несмотря на общее расширение Вселенной, могут взаимодействовать друг с другом. Галактики и антигалактики могут, например, принадлежать к одному скоплению и сближаться друг с другом. Если они сближаются настолько, что пыль и газ на их границах смешаются, то это приведет к немедленному высвобождению огромного количества энергии. И действительно, в глубинах космического пространства наблюдаются зоны колоссального высвобождения энергии, которые, быть может, указывают на такую аннигиляцию вещества и антивещества. Я еще вернусь к этому позже.

Возможно, подобные реакции на границах звездных систем спасают галактики и антигалактики от общей аннигиляции. Для пояснения можно в качестве примера привести каплю воды, упавшую на раскаленную плиту. Она не испарится мгновенно. Наоборот, она будет удивительно долго прыгать и перекатываться по раскаленной поверхности. Причина заключается в том, что часть капли, соприкоснувшаяся с поверхностью плиты, сразу испаряется и облачко пара приподнимает каплю, частично изолируя ее от жара.

---

<sup>1)</sup> Разумеется, это скорее вопрос терминологический, но нейтральные частицы, которые образуются при превращении водорода в гелий физики называют антинейтрино, а нейтрино — получилось бы при превращении антиводорода в антигелий — *Прим ред*



Точно так же при сближении галактики и антигалактики первый их контакт на границе может создать мощнейший поток энергии, который будет мешать их дальнейшему сближению и, так сказать, изолировать их друг от друга.

При этом, однако, такое изолирующее взаимодействие станет гигантским источником фотонов гамма-лучей, которые начнут разлетаться по всей Вселенной. Возможно, что гамма-лучи, обнаруженные «Эксплорером-11», поступали из такого источника и были признаком того, что Вселенная содержит равное число галактик и антигалактик.

А как согласовать это с теорией Большого Взрыва?

Сжимающаяся Вселенная, состоящая из равного числа галактик и антигалактик, должна по мере их сближения постепенно аннигилировать, и образующееся в конце концов «космическое яйцо» может состоять только из гамма-лучей. Возможно, именно давление этих гамма-фотонов и вызывает Большой Взрыв и в первые бурные моменты расширения гамма-лучи порождают равные количества частиц и античастиц.

Эти частицы должны разделиться иначе они снова аннигилируют в гамма-лучи. Мы могли бы предположить, что на каждую частицу, возникающую на одной стороне взрывающегося «космического яйца», на противоположной его стороне образуется античастица. Американский физик, австриец по национальности, Морис Гольдхабер (род в 1911 г) предложил именно такую гипотезу образования Вселенной из вещества и Анти-вселенной из антивещества (назвав их соответственно «космоном» и «антикосмоном»).

Смешиваются ли они в процессе расширения, образуя единую Вселенную из равного числа галактик и антигалактик? В этом случае мы можем представить себе пульсирующую Вселенную, в которой при каждом сжатии происходит слияние вещества и антивещества, а при каждом расширении — их разделение.

Или, может быть, Вселенная и Антивселенная взаимно отталкиваются и полностью разделяются, так что наша Вселенная состоит только из вещества? Возможно, в пульсирующей модели Вселенная и Антивселенная

сливаются в процессе сжатия, образуя единое «космическое яйцо», и снова разделяются в процессе расширения

А может быть (далее следует мой личный вклад в эту проблему — гипотеза, которая, насколько мне известно, еще никем и никогда не высказывалась), Вселенная и Антивселенная разделены всегда и пульсируют в такт друг другу. Одна расширяется, когда другая сжимается, и наоборот.

В такой модели двойной Вселенной кажущаяся асимметричность нашей Вселенной исчезает. Вещество и антивещество двойной Вселенной оказываются в целом уравновешенными, хотя наша Вселенная состоит почти исключительно из вещества. Кроме того, в такой двойной Вселенной оказывается полностью уравновешенным и радиальное движение. Вселенная и Антивселенная, взятые вместе, в сумме будут статичными, хотя наша Вселенная сейчас расширяется.

# Радиоастрономия

## Солнце

Хотя космические лучи, рентгеновские лучи и гамма-лучи, попадающие на Землю из космического пространства, чрезвычайно интересны для астрономов, все же подлинный переворот в астрономии середины XX в. был связан с исследованием другого конца спектра — с изучением длинных, обладающих низкой энергией волн радиодиапазола.

Это объясняется двумя причинами. Во-первых, атмосфера, прозрачная для видимого света, но непрозрачная для большинства других электромагнитных волн, оказалась прозрачной также для широкого диапазона коротких и ультракоротких радиоволн — микрорадиоволн. Таким образом, астрономы получили еще одно «окно» в небо. Микрорадиоволновое излучение небосвода можно спокойно изучать, оставаясь на поверхности Земли. И незачем засылать в небеса приборы на ракетах и зондах.

Во-вторых, использование радиоволн для беспроводной связи способствовало развитию тончайших методов приема и усиления слабых сигналов такого рода.

Собственно говоря, предположение о существовании небесного радиоизлучения пришло в голову ученым на самой заре века радио. Уже через несколько лет после открытия радиоволн была высказана идея о возможности обнаружения радиоизлучения Солнца. В частности, английский физик Оливер Джозеф Лодж (1851—1940), пионер радиосвязи, пытался еще около 1890 г. обнаружить радиоизлучение Солнца, но потерпел неудачу. Затем подобные эксперименты долгое время вообще не производились, и когда, наконец, пришел успех, это произошло случайно.

Радиоизлучение небосвода открыл американский инженер Карл Янский (1905—1950), который в 1931 г. за-

нимался совершенно не астрономической проблемой борьбы с помехами радиосвязи. Он никак не мог обнаружить один из источников помех и в конце концов решил, что они вызваны очень короткими радиоволнами, идущими к нам из космического пространства. Он опубликовал свои наблюдения в 1932 и 1933 гг., но его статьи не привлекли внимания астрономов.

Собственно говоря, они заинтересовали только еще одного американского инженера, Гроута Ребера (род в 1911 г.). В 1937 г. он построил у себя во дворе радиотелескоп — десятиметровую параболическую чашу, которая должна была улавливать слабые микрорадиоволны, приходящие из космического пространства, и отражать их на приемное устройство в центре параболы. В течение нескольких лет Ребер скрупулезно искал небесные источники радиоизлучения. Он был первым и довольно долго единственным радиоастрономом. Свою первую работу на эту тему он опубликовал в 1940 г.

Астрономы реагировали на нее с большим запозданием. Дело в том, что очень короткие волны космического радиоизлучения были намного короче тех, которые обычно использовались для радиосвязи, а поэтому они не вызывали помех при радиоприеме и не привлекали к себе внимания. Да и техника еще не создала надежных методов работы с такими короткими волнами.

Однако в конце 30-х годов были проведены важные усовершенствования, которые в конце концов уничтожили это препятствие. В Англии и США разрабатывался радиолокатор — прибор, посылающий импульс микрорадиоволн так, чтобы можно было обнаружить отраженное эхо этого луча, натолкнувшегося на препятствие. Направление прихода эха указывало направление на препятствие, а время между посылкой луча и приемом отраженного сигнала позволяло определить расстояние до препятствия (поскольку микрорадиоволны движутся со скоростью света). Радиолокатор был идеальным средством обнаружения далеких объектов, особенно в условиях, когда обычные оптические приборы были бессильны. Он работал не только днем, но и ночью, облака и туман, не пропускающие лучей света, для микрорадиоволн были совершенно прозрачны.

Радиолокатор заблаговременно предупреждал англичан о приближении немецких самолетов и сыграл большую роль в «битве за Англию». Поэтому любые помехи в его работе представляли большую опасность для Англии и ее союзников. И вот однажды в 1942 г. вся система радиолокации была буквально оглушена потоком посторонних микрорадиоволн и временно вышла из строя. Если эти помехи были созданы немцами, то последствия могли оказаться чрезвычайно серьезными. Однако проверка показала, что причиной помех была гигантская солнечная вспышка, которая и позволила впервые обнаружить существование солнечных космических лучей (см. стр. 288). Вспышка послала в сторону Земли колоссальный поток микрорадиоволн, полностью заглушивший создаваемые человеком радиоволны, которые использовались в радиолокации. Так было обнаружено, что излучение Солнца заходит в радиодиапазон. К концу второй мировой войны астрономы уже готовы были всерьез заняться радиоастрономией.

Для изучения радиоволнового спектра Солнца были использованы точные методы, разработанные для радиолокации, и почти сразу было установлено, что Солнце излучает микрорадиоволны гораздо интенсивнее, чем этого можно было бы ожидать, судя по температуре его поверхности. Обнаруженная интенсивность некоторых коротких волн требовала температуры порядка 1 000 000°C. Эти волны, разумеется, испускались коронной, которая была достаточно горяча даже для того, чтобы испускать рентгеновские лучи (см. стр. 295).

Солнце, кроме того, давало всплески интенсивного микрорадиоволнового излучения, связанные с солнечными пятнами, вспышками и другими проявлениями его активности.

## П л а н е т ы

Как это ни удивительно, Солнце — не единственный источник микрорадиоволн в солнечной системе. Планеты светят только отраженным светом, и тем не менее некоторые из них излучают собственные микрорадиоволны,

достаточно интенсивные для того, чтобы их можно было уловить на Земле

Например, в 1965 г. было установлено, что источником всплесков определенных микрорадиоволн, которые в течение пяти лет сбивали исследователей с толка, является Юпитер. Некоторая часть микрорадиоволнового излучения Юпитера имеет тепловое происхождение, т. е. объясняется просто тем, что поверхность Юпитера имеет определенную температуру и потому излучает энергию в широкой полосе электромагнитного спектра, включающей также и микрорадиоволновый диапазон. Однако на некоторых длинах волн радиоизлучение было гораздо интенсивнее, чем можно было бы объяснить при данной температуре. (Нельзя же было ожидать, что у Юпитера обнаружится такая же горячая корона, как у Солнца.) Для объяснения нетепловой части излучения в конце концов было выдвинуто предположение, что Юпитер обладает намного более мощным магнитным полем, чем Земля, о чем я расскажу в следующем разделе.

Столь же интересным оказалось микрорадиоволновое излучение Венеры. Впервые оно было обнаружено в 1956 г., и астрономы сразу же столкнулись со странным несоответствием. По данным измерения инфракрасного излучения температура Венеры составляла около  $-43^{\circ}\text{C}$ . Однако микрорадиоволновое излучение свидетельствовало о температуре на несколько сот градусов выше, в частности выше температуры кипения воды.

Но действительно ли это — несоответствие? Инфракрасное излучение Венеры должно возникать в верхних слоях ее атмосферы. Если бы оно зарождалось на твердой поверхности планеты или хотя бы вблизи нее, оно поглощалось бы атмосферой. Однако атмосфера Венеры, как и атмосфера Земли, прозрачна для микрорадиоволн.

Даже постоянный непроницаемый облачный покров Венеры, скрывающий ее подлинную поверхность от человеческого взгляда, прозрачен для них. Поэтому вполне вероятно, что инфракрасное излучение сообщает нам о низкой температуре, естественной для верхних слоев атмосферы, а микрорадиоволны говорят о температуре твердой поверхности планеты.

И все же температура намного выше точки кипения воды для Венеры несколько удивительна. Может быть, ее микрорадиоволновое излучение не все имеет тепловую природу, а хотя бы частично порождается магнитным полем, как у Юпитера? Вряд ли. Подавляющее большинство астрономов считает, что Венера вращается вокруг своей оси очень медленно. А так как они склонны думать, что магнитное поле возникает у планеты, лишь когда ее вращение достаточно быстро для того, чтобы вызвать возмущения в расплавленном ядре, то наличие заметного магнитного поля у медленно вращающейся Венеры маловероятно.

Вопрос был решен, когда посланная к Венере межпланетная автоматическая станция «Маринер-2», снабженная необходимыми приборами, прошла в декабре 1962 г. в 34 500 км от планеты. Заметного магнитного поля у нее обнаружено не было. Если оно и существует, то его напряженность более чем в 100 раз уступает напряженности магнитного поля Земли. Данные, полученные с помощью «Маринера-2», показали также, что радиоизлучение приходит к нам не от ионосферы Венеры, а от ее поверхности. Следовательно, микрорадиоволновое излучение должно быть по своей природе тепловым, а поверхность Венеры — горячей. Интенсивность этого излучения, измеренная «Маринером-2», показывает, что температура поверхности Венеры примерно 400°C.

Сведения о солнечной системе можно также получать и с помощью отраженных микрорадиоволн. Впервые это было сделано в 1945 г., когда импульсы радиолокатора отразились от метеорного дождя. Такой способ позволил обнаруживать и изучать метеорные дожди даже днем, когда они невидимы для глаза. Для получения отраженных сигналов от более отдаленных объектов понадобилось только улучшить технику, чтобы посылать очень сильные импульсы и улавливать и усиливать очень слабые отраженные сигналы среди окружающего излучения того же характера (шумов).

В качестве экрана для отражения радиолокационного луча можно было бы использовать, например, Луну — впервые это было осуществлено в 1946 г. В 1958 г. был получен сигнал, отраженный от Венеры, в 1959 г. — от

Солнца, а позже и от других членов солнечной системы — Меркурия, Марса и, возможно, даже Юпитера.

Промежуток между посылкой импульса и возвращением отраженного сигнала дает возможность определять расстояния до планет, и отраженный от Венеры луч позволил с невиданной ранее точностью определить масштабы солнечной системы. Это был значительный шаг вперед по сравнению с определениями параллакса астероида Эрос в 30-х годах (см. стр. 30).

Более того, отраженные микрорадиоволны могут служить источником сведений о характере отражающей поверхности. Если бы отражающее тело было правильным гладким шаром, отраженный сигнал приходил бы к нам только от участка, обращенного прямо к Земле. Однако если это неровная поверхность, то отраженный каким-либо склоном сигнал может прийти к нам из такого места, откуда он не вернулся бы, будь поверхность совершенно ровной. Но из-за кривизны поверхности Луны этот склон окажется чуть-чуть дальше от Земли и отраженный сигнал будет чуть-чуть смазанным и более длительным, чем первоначальный импульс. Кроме того, если исследуемый объект вращается, радиоэхо будет определенным образом искажаться из-за эффекта Допплера.

Естественно, многое из того, что сообщает нам радиолокатор о лунной поверхности, может быть проверено, поскольку мы видим солнечный свет, отражающийся от той же поверхности. Но совсем иное дело Венера, чья поверхность невидима для нас, но достижима для микрорадиоволн, свободно проходящих сквозь облака. И в 1965 г. отраженные микрорадиоволны как будто показали, что на поверхности Венеры имеются по крайней мере два огромных горных хребта, один из которых тянется с севера на юг, а другой — с востока на запад.

Еще более интересным был вопрос о вращении Венеры. Поскольку на этой планете нельзя различить ничего, кроме однообразного облачного покрова, было невозможно точно определить ее период вращения. Еще в 1962 г. о вращении далекого Плутона было известно куда больше, чем о вращении этой ближайшей к нам планеты. Высказывалось много догадок и на основе недостаточных данных делалось много оценок. Наиболее рас-



пространственным было предположение, что период вращения Венеры равен периоду ее обращения вокруг Солнца, т. е. 225 дням.

В этом случае планета была бы постоянно обращена к Солнцу только одной стороной (как Луна обращена одной стороной к Земле) и следовало ожидать, что дневная сторона Венеры чрезвычайно горяча, а ночная — чрезвычайно холодна. Можно было бы заподозрить, что на ней постоянно дуют сильнеешие ветры, переносящие теплоту с одной стороны на другую. А может быть, период Венеры и не точно равен периоду ее обращения вокруг Солнца, так что у нее вовсе нет дневной и ночной стороны, а так же, как на Земле, каждая точка поверхности оказывается поочередно то на солнечной, то на теневой стороне.

Последнее предположение подтверждается характером отражения микрорадиоволн. К некоторому удивлению астрономов, в 1962 г. было обнаружено, что Венера делает один оборот вокруг своей оси за 247 суток, причем в обратном направлении. Другими словами, если смотреть на нее со стороны северного полюса, она будет вращаться по часовой стрелке, а не против нее, как вращается Земля и почти все остальные планеты. Таким образом, Венера вертится с востока на запад, а не с запада на восток, как Земля. Такое соединение вращения Венеры с ее движением вокруг Солнца должно привести к тому, что наблюдатель в любой точке ее поверхности видел бы (если бы не было облаков), как Солнце встает на западе и заходит на востоке примерно два раза в венерианский год.

Сейчас астрономы могут только задавать себе вопросы, почему Венера вращается в обратном направлении и почему она так горяча. Но лучше вопросы без ответов, чем полное отсутствие вопросов.

К тому же благодаря новой методике радиолокационных исследований пришлось изменить наши представления о периоде вращения не только одной Венеры. В 1965 г. изучение отраженных микрорадиоволн показало, что период вращения Меркурия не совпадает с его 88-дневным периодом обращения вокруг Солнца. Это было тем более удивительно, что в отличие от Венеры

Меркурий не имеет облачного покрова и его поверхность можно непосредственно наблюдать (хотя и с трудом — из-за близости Солнца), так что его период вращения можно было установить непосредственно по смещению пятен и линий на его поверхности. Еще в 80-х годах

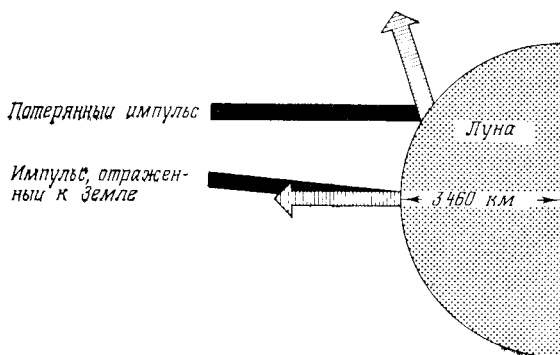


Рис 37. Отражение микрорadioволн

прошлого века итальянский астроном Джованни Вирджинио Скиапарелли (1835—1910) изучил эти пятна и линии и объявил, что период вращения Меркурия совпадает с периодом его обращения вокруг Солнца. И в течение 80 лет все так и считали.

Однако, когда были получены данные об отражении микрорadioволн, поверхность Меркурия была вновь изучена с особенной тщательностью, и оказалось, что Скиапарелли ошибся. Впрочем, ошибка эта была вполне извинительной. Период вращения Меркурия равен 58,5 суток, т. е. примерно двум третям его года. Та часть его поверхности, которая обращена к Солнцу, когда Меркурий находится в перигелии, опять оказывается против Солнца при его третьем возвращении в перигелий, затем при шестом, при девятом и т. д. Человек, наблюдающий его через сроки, кратные трем его возвращением в перигелий, увидел бы те же самые пятна и линии на том же самом месте, и было бы вполне логично предположить, что Меркурий заканчивает один оборот вокруг своей оси как раз за период своего обращения вокруг Солнца, как это и случилось на самом деле

## Звезды

Сколь ни интересно микрорадиоволновое излучение тел солнечной системы, радиоастрономия отнюдь не ограничивается его изучением. Более того, самые первые радионаблюдения были связаны с источниками космических микрорадиоволн, находящимися далеко за пределами солнечной системы.

Первые наблюдения Янского проводились в период относительно спокойного Солнца, когда его радиоизлучение сравнительно слабо. Поэтому не оно было тем источником, который открыл Янский, хотя он приписал это радиоизлучение именно ему, обнаружив, что источник радиоволн движется по небосводу вместе с Солнцем. Однако позже он заметил, что источник обгоняет Солнце на 4 мин в сутки. Это означало, что он неподвижен по отношению к звездам, как оказалось потом, он находится в направлении созвездия Стрельца. Не могло быть сомнений, что источник этот — центр Галактики.

Это было открытием первостепенной важности. Облака межзвездной пыли, постоянно заслоняющие центр Галактики и делающие его недоступным для прямого визуального изучения, были совершенно прозрачны для микрорадиоволн. Нам не дано увидеть центр Галактики обычным способом, но мы можем «видеть» его с помощью микрорадиоволн.

Ребер, изучая радиоволновое излучение небосвода, составил карту радионеба — схему распределения по небу интенсивности космического радиоизлучения. Главной характерной чертой радионеба оказалась полоса мощного излучения, тянущаяся вдоль Млечного Пути, интенсивность ее излучения была максимальной в направлении на центр Галактики и снижалась по обе стороны от центра. Однако плоскостью Млечного Пути радионебо отнюдь не исчерпывалось. Отдельные пятна высокой интенсивности попадались и в других местах, даже очень отдаленных от полосы Млечного Пути. Большинство этих радиоисточников вначале не удавалось отождествить с каким-либо видимым объектом, но было совершенно ясно, что это не могли быть обычные звезды вроде нашего

Солнца. Если большинство звезд испускало микрорадиоволны, так же как Солнце, то центр Галактики не мог излучать достаточно радиоволн, чтобы они доходили до нас с наблюдаемой интенсивностью.

Необычность природы радиоисточников подтверждалась тем фактом, что один из них был вскоре отождествлен с Крабовидной туманностью. Я уже упоминал о ней как об источнике рентгеновских и космических лучей (см стр 297). Она оказалась, кроме того, и источником микрорадиоволн — третьим по мощности за пределами солнечной системы.

Можно было бы предположить, что микрорадиоволновое излучение Крабовидной туманности, гораздо более интенсивное, чем излучение Солнца, объясняется высокими температурами, так же как и рентгеновские, и космические лучи. Однако, по-видимому, это не так. Если бы температура Крабовидной туманности была достаточно высока для возникновения микрорадиоволнового излучения такой интенсивности, сама туманность обладала бы гораздо большей видимой яркостью. Кроме того, интенсивность микрорадиоволнового излучения, вызванного высокой температурой, должна падать в более длинноволновом диапазоне пропорционально росту длины волны, а этого в данном случае не наблюдается.

Новые открытия в ядерной физике подсказали возможное объяснение. Для того чтобы заставить движущееся тело изменить скорость или направление своего движения, требуется затратить энергию, и движущееся тело при этом может излучить часть своей энергии. Особенно заметно такое явление в синхротронах — установках, в которых сильные магнитные поля используются для того, чтобы заставить электроны двигаться по кругу, непрерывно обрушивая на них потоки энергии. Электроны испускают при этом синхротронное излучение, длина волны и интенсивность которого зависят от их энергии.

В 1953 г. советский астроном Иосиф Самуилович Шкловский (род в 1916 г) высказал предположение, что Крабовидная туманность, по-видимому, имеет интенсивное магнитное поле, силовые линии которого заставляют электроны двигаться по спирали и испускать при этом синхротронное излучение, и что именно это излу-

ние может включать не только световые, но и микрорадиоволны.

В этом случае направление испускания волн определялось бы направлением магнитных силовых линий. Поэтому колебания таких волн также происходили бы в определенной плоскости и свет Крабовидной туманности был бы поляризованным. Астрономы могут проверить, поляризован свет или нет, и советский астроном В. А. Домбровский первым установил, что свет Крабовидной туманности действительно поляризован, после чего это подтвердили и другие астрономы. Снимки Крабовидной туманности, сделанные через поляризационные фильтры, ориентированные в определенных направлениях, в каждом случае имеют характерные очертания, которых и следовало ожидать, если свет поляризован.

Успехи, достигнутые при изучении Крабовидной туманности, позволили высказать предположение, что часть нетеплового излучения Юпитера также может быть синхротронным излучением (см. стр. 312). Это означало бы, что магнитное поле Юпитера в десятки раз мощнее магнитного поля Земли. Если учесть быстрое вращение Юпитера (один оборот за 10 час по сравнению с 24-часовыми земными сутками, хотя диаметр Юпитера в 11 раз больше земного), такое предположение представляется вполне вероятным. К 1960 г. было установлено, что микрорадиоволновое излучение Юпитера поляризовано именно в том направлении, какого можно было бы ожидать, если бы магнитные полюсы Юпитера, как и магнитные полюсы Земли, располагались вблизи его географических полюсов.

К этому времени уже было известно, насколько эффективно магнитные силовые линии захватывают частицы вокруг Земли, и были открыты радиационные пояса (стр. 285). Поэтому можно было предположить, что Юпитер имеет заметно более мощную магнитосферу, чем Земля. В 1962 г. после взрыва в верхних слоях атмосферы ядерной бомбы магнитные силовые линии Земли были перегружены захваченными заряженными частицами, которые, летая по спирали взад и вперед вдоль силовых линий, испускали поддающееся обнаружению синхротронное излучение. Это заполнило все пробелы, и

теория синхротронной природы микрорадиоволнового излучения Крабовидной туманности (и многих других радиоисточников) была принята всеми.

Крабовидная туманность — это почти наверняка остатки Сверхновой, и другие радиоисточники также можно отождествить с известными Сверхновыми, вспыхивавшими в нашей Галактике. Примером этому могут служить Сверхновые Тихо Браге и Кеплера. Однако наиболее мощный источник радиоизлучения не связан ни с одной из известных Сверхновых. Его называют «Кассиопея А», так как он находится в этом созвездии. Кассиопея А не соответствует никакой примечательный видимый объект — рассмотреть в этой области удастся только облака и языки газа, удаленные от нас на 10 000 световых лет. При дальнейшем изучении оказалось, что этот газ чрезвычайно горяч и находится в очень бурном движении. Это вполне могут быть остатки Сверхновой, которая вспыхнула в начале XVIII в., но осталась незамеченной, так как из-за дальности расстояния была недостаточно ярка — в то время интерес к Новым звездам был столь мал, что внимание наблюдателей могло привлечь только очень яркое светило. Вторым интересным источником является IC 443 — тоже туманность, которая может быть остатками Сверхновой, вспыхнувшей примерно 50 000 лет назад. Белых карликов, связанных с этими туманностями, мы увидеть не можем — опять-таки из-за расстояния.

Вполне логично предположить, что источником общего микрорадиоволнового излучения Млечного Пути могут быть вспыхивавшие в нем Сверхновые, но это не обязательно единственный источник. Существуют красные карлики особого типа, у которых иногда замечаются нерегулярные увеличения блеска. Предполагается, что их яркость возрастает из-за вспышек, похожих на солнечные, но более интенсивных, и что эти вспышки, так же как и солнечные, сопровождаются микрорадиоволновым излучением. Совместные исследования английского астронома Альфреда Чарльза Бернарда Ловелла (род. в 1913 г.) и американского астронома Фреда Лоренса Уиппла (род. в 1906 г.) показали, что интенсивность микрорадиоволнового излучения этих звезд действительно

увеличивается с ростом блеска, и эти вспыхивающие звезды стали первыми более или менее обычными звездами, с которыми были отождествлены источники радиоизлучения.

## Галактика

Не все микрорадиоволновое излучение Галактики приходит к нам от звезд или остатков Сверхновых. Существует еще межзвездное вещество, разреженный межзвездный газ, который в основном состоит из водорода. Если какая-нибудь расположенная неподалеку звезда нагревает этот водород, то его атомы могут получить избыток энергии и перейти в ионизованное состояние. Этот избыток энергии может излучаться, что дает астрономам возможность наблюдать светящиеся облака и обнаруживать спектральные линии водорода.

Это, конечно, лучше, чем ничего, но ненамного, так как лишь очень малая часть межзвездного водорода нагревается достаточно для того, чтобы излучать такие линии. Значительная часть водорода в межзвездном пространстве — по меньшей мере 95% — имеет относительно низкую температуру и никакого излучения не порождает. Кроме того, линии, порождаемые нагретым водородом, могут быть видимы только там, где его не заслоняют непроницаемые облака темных туманностей; другими словами, этот способ пригоден только для изучения ближайшей к нам части Галактики.

Однако в 1944 г. голландский астроном Хендрик Кристоффель ван де Хюлст развлекался на досуге тем, что разрабатывал теорию поведения холодного водорода (он был вынужден заняться теоретической работой потому, что во время оккупации Голландии немцами во вторую мировую войну все другие астрономические работы были невозможны). Он рассчитал вероятные варианты взаимной ориентации магнитных полей протона и электрона в атоме водорода. Оба эти поля могут быть ориентированы параллельно или в противоположных направлениях. Между этими двумя состояниями существует крошечная разница в энергии, и атом водорода, находящийся на более низком энергетическом уровне, может

изредка поглотить случайно оказавшийся рядом фотон подходящего «размера» и перейти на более высокий энергетический уровень. Опять-таки очень редко атом водорода, находящийся на более высоком энергетическом уровне, может испустить фотон и перейти на низший уровень. Отдаваемая или поглощаемая при этом энергия так мала, что испускаются или поглощаются лишь фотоны очень малой энергии — фотоны микрорадиоволнового диапазона с длиной волны около 21 см.

Испускание или поглощение фотона с длиной волны 21 см каждым отдельным атомом водорода должно происходить крайне редко, но во Вселенной этих атомов столько, что постепенно накапливающееся излучение такого рода может стать доступным для наблюдения.

После войны астрономы начали искать факты, подтверждающие эту теорию, и в 1951 г. американский физик швейцарского происхождения Феликс Блох (род в 1905 г.) и американский физик Эдвард Миллс Парселл (род. в 1912 г.), работая независимо друг от друга, обнаружили излучение на волне 21 см. Затем была также обнаружена линия поглощения межзвездного водорода на той же волне.

Теперь появился метод исследования межзвездного водорода и определения областей, где его содержание относительно велико. Кроме того, поскольку это фотоны микрорадиоволн, а не видимого света, они легко проникают сквозь пылевые облака, и астрономы получили возможность «видеть» межзвездный водород во многих районах Галактики, недоступных для наших глаз.

И до обнаружения излучения на волне 21 см уже предпринимались попытки проследить спиральные ветви Галактики по светящимся водородным облакам. Эти облака обычно окружали особенно горячие звезды населения I, которые возникали в пылевых ветвях. Полоса голубовато-белых гигантов, освещающих вокруг себя водород на расстоянии нескольких световых лет, показала бы очертания спиральных ветвей. Таким способом американский астроном Уильям Уилсон Морган (род в 1906 г.) и его сотрудники создали в 1951 г. карту спиральных ветвей Галактики.

Были прослежены части трех отдельных ветвей. Одна



из них включала формации, расположенные в созвездии Ориона, и получила название ветви Ориона. В ней находится и наше Солнце. Ближе к центру Галактики расположена ветвь Стрельца, а дальше от центра — ветвь Персея. Карта была расширена и дополнена в результате дальнейших исследований того же рода, но затем с открытием радиоизлучения 21 см этим методом перестали пользоваться. Теперь появилась возможность проследить структуру Галактики гораздо дальше и гораздо подробнее. Были созданы карты ветвей Галактики, и ее уже можно схематически представить себе как довольно симметричную двойную спираль.

Но и холодный нейтральный водород Галактики тоже не находится в покое. Работы Оорта и ван де Хюлста, по-видимому, показывают, что водород с удивительно большой скоростью течет от центра к окраинам системы. По оценке Оорта, ежегодно из центра на окраины уносится количество водорода, по массе равное Солнцу. Этот отток газа наружу вдоль спиральных ветвей, по некоторым предположениям, поддерживает существование самих ветвей, пополняя их богатые запасы газа и давая им возможность порождать новые звезды. С другой стороны, трудно понять, почему не иссякает этот источник водорода в центре. Он, вероятно, иссяк бы давным-давно, если бы не общая циркуляция, благодаря которой запасы водорода в центре пополняются, возможно, за счет гигантского «ореола» водорода, который, по-видимому, окружает Галактику со всех сторон. Но какие силы поддерживают эту циркуляцию, пока не известно.

Другие галактики, конечно, тоже обладают запасом водорода, а количество его может зависеть от типа галактики. Этот запас у спиральных галактик, по-видимому, больше, чем у эллиптических. Изучение радиоизлучения 21 см показывает, что в более рыхлых спиральных галактиках содержится больше межзвездного водорода, чем в более компактных, а неправильные галактики содержат его больше всех остальных. Имеет ли это какое-нибудь отношение к вопросу об эволюции галактик, и если да, то какое, пока еще не ясно.

Естественно, астрономам хотелось бы найти и другие виды микрорадиоволнового излучения, которые могли

бы оказаться полезными для исследования межзвездного газа, для этого они занялись дейтерием (водородом-2). Водород составляет абсолютно подавляющую часть межзвездного газа, и какой-то небольшой процент его атомов должен быть водородом-2. Атомы водорода-2

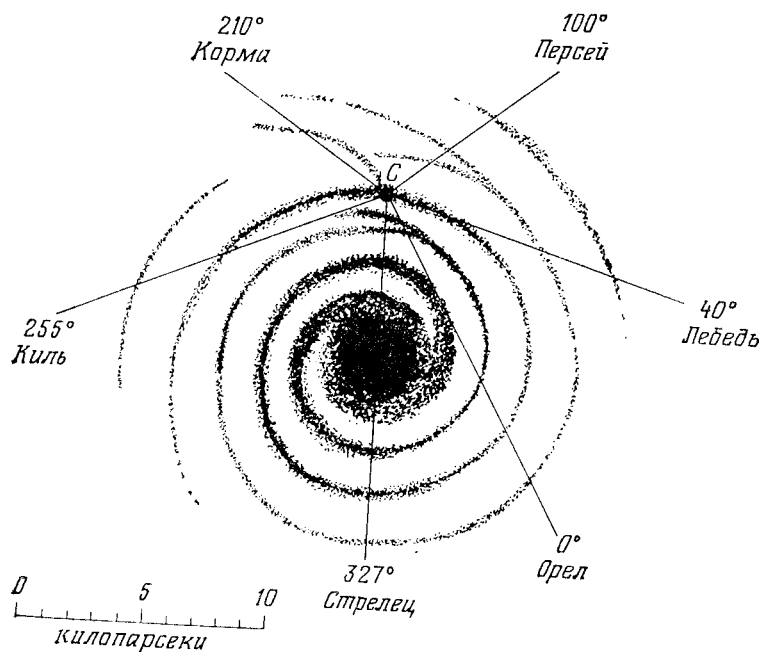


Рис 38 Спиральные ветви Галактики (схема)

отличаются от атомов обыкновенного водорода-1 тем, что к протону ядра у них добавлен еще нейтрон. Магнитное поле протонно-нейтронного ядра должно вступать во взаимодействие с магнитным полем электрона, как и магнитное поле простого протонного ядра, и при этом, согласно теоретическому предсказанию, должна испускаться волна длиной 91 см. Мощные источники радиоизлучения, вроде Кассиопеи А, были «прочесаны» в поисках этой чрезвычайно важной радиолинии, но найти ее не уда-

лось. После водорода и гелия наиболее распространенной составной частью межзвездного газа является кислород. Атом кислорода может соединяться с атомом водорода, образуя гидроксильную группу. На Земле такое соединение будет неустойчивым, поскольку гидроксильная группа химически чрезвычайно активна и вступает в соединение почти с любым приблизившимся к ней атомом или молекулой. Особенно легко она присоединяет второй атом водорода, образуя молекулу воды. Однако в межзвездном пространстве, где атомы настолько рассеяны, что встречаются друг с другом чрезвычайно редко, гидроксильная группа, раз возникнув, могла бы просуществовать очень долго.

Как показали теоретические расчеты, гидроксильные группы должны поглощать и испускать излучение четырех различных длин волн микрорадиоволнового диапазона. Ученые буквально обшарили Кассиопею А, и в конце 1965 г. были замечены две линии поглощения с длиной волны около 55 см.

Линии поглощения гидроксильной группы неожиданно оказались очень полезными. Поскольку масса гидроксильной группы примерно в 17 раз превышает массу отдельного атома водорода, эта группа медлительнее, и при той же температуре скорость движения у нее вчетверо меньше. Обычно движение приводит к размазыванию линии, и поэтому радиолиния гидроксила выглядит гораздо более четкой, чем радиолиния водорода. Поэтому легче судить, не сдвинулась ли линия гидроксила в сторону более длинных или более коротких волн, и можно точнее определить лучевую скорость облака газа.

Кроме того, отношение количества гидроксильных групп и атомов водорода по какой-то причине изменяется в зависимости от места; по-видимому, относительная численность гидроксильных групп быстро увеличивается по мере приближения к центру Галактики. Поэтому астрономы надеются, что карта распределения в Галактике гидроксильных групп поможет четко определить ее центр и сделает возможным более точное истолкование происходящих там процессов. Однако сейчас, на самых первых этапах исследований, возникает столько неясностей и загадок, что некоторые ученые дали облакам, богатым гидроксильными группами, название «мистерииум»

## Окраины Вселенной

### *Сталкивающиеся галактики*

К середине 50-х годов на карте неба было отмечено почти 2000 отдельных источников космического радиоизлучения. Некоторая их часть явно вносила вклад в общее микрорадиоволновое излучение Млечного Пути. Но остальные примерно 1900 источников с этим общим излучением связаны не были. Это не были целые излучающие области, как источники радиоизлучения Млечного Пути. Наоборот, как доказал австралийский астроном Джон Болтон в 1948 г., они скорее представляли собой точечные источники — их излучение исходило из очень ограниченных областей неба.

Казалось логичным предположить, что такие радиоволны испускаются звездами, которые по той или иной причине излучают особенно сильно именно в этом диапазоне. Болтон даже назвал их радиозвездами.

Конечно, было ясно, что такие радиозвезды, если они действительно существуют, не могут быть обычными звездами: они скорее могли бы быть остатками Сверхновых. Во всяком случае, таким остатком была Крабовидная туманность — третья по мощности радиозвезда неба, а возможно, и Кассиопея А — самая мощная из них.

Беда была в том, что в первые годы существования радиоастрономии лишь очень немногие радиозвезды можно было связать с видимыми объектами или хотя бы со слабыми туманными пятнами вроде Кассиопеи А. Отчасти это объяснялось тем, что четкость изображения объекта зависит от длины волны того излучения, с помощью которого это изображение получается. Длинноволновое излучение дает размытое изображение. Микрорадиоволны, грубо говоря, в 400 000 раз длиннее свето-

вых волн, благодаря которым мы обычно видим звезды, и «изображение», получаемое с их помощью, соответственно расплывается. В результате изучать небо с помощью микрорадиоволн — это почти то же, что рассматривать его через сильно расфокусированный оптический инструмент. Вместо резкой точки видно туманное пятно — как же найти в этом тумане точку, которую мы пытаемся увидеть?

Радиоастрономам приходится по мере возможности определять положение своего радиисточника в каком-то достаточно малом участке неба — малом для невооруженного глаза, но гигантском для мощного телескопа, — а потом с помощью оптических наблюдений пытаться установить, нет ли где-нибудь на этом участке чего-нибудь подозрительного. Если это что-то обнаруживается, то предпринимаются всяческие попытки сделать микрорадиоволновое «изображение» более резким и посмотреть, куда при этом нацелится радиотелескоп. По мере того как радиотелескопы становились все крупнее, а приемники радиоизлучения — все чувствительнее, это стало получаться значительно лучше.

Но постепенно у астрономов начала вызывать сомнения сама идея радиозвезд. Как бы ни уточнялось положение радиозвезд, все равно, за исключением очень незначительного числа случаев, их не удавалось отождествить ни с какими видимыми объектами в пределах нашей Галактики. Хуже того: чем больше обнаруживалось радиозвезд, тем яснее становилось, что они распределяются по небу очень равномерно, в то время как все объекты внутри нашей Галактики, начиная от обыкновенных звезд и кончая остатками Сверхновых, тяготеют к плоскости Млечного Пути. А единственные видимые объекты, распределенные по небу равномерно, — это галактики. Так, может быть, радиозвезды — это галактики? Может быть, следует говорить не о радиозвездах, а о радиогалактиках?

Первый реальный шаг вперед в этом направлении был сделан в связи со вторым по силе радиисточником, который называется «Лебедь А». Микрорадиоволновое излучение, приходящее откуда-то с этого направления, было замечено еще Ребером в 1944 г., а в 1948 г. Болтон

установил, что Лебедь А — одна из радиозвезд. Собственно говоря, это был первый объект, положение которого Болтону удалось определить с точностью, достаточной для того, чтобы иметь право так его назвать. К 1951 г. участок неба, в котором мог находиться Лебедь А, был сведен к площадке примерно в одну квадратную секунду дуги. Теперь оставалось найти что-нибудь в этом квадрате.

Бааде изучил его с помощью 200-дюймового телескопа и обнаружил в нем галактику странной формы. При ближайшем рассмотрении было решено, что это не одна деформированная галактика, а две, причем их ядра находились в тесном контакте.

Объяснение казалось бесспорным — столкновение двух галактик! Со звездами случались катастрофы, приводившие, как, например, в Крабовидной туманности, к мощному микрорадиоволновому излучению, и точно так же могли происходить еще более колоссальные катастрофы галактических масштабов, приводившие к еще более мощному излучению микрорадиоволн.

Казалось очевидным, что в сталкивающихся галактиках действительно происходят процессы чудовищных масштабов. Когда, наконец, удалось получить видимый спектр Лебеда А (задача нелегкая ввиду его чрезвычайной слабости), в этом спектре были обнаружены линии многократно ионизованных атомов — линии, которые говорили о чрезвычайно высоких температурах. (Бааде поспорил с Минковским на бутылку виски, что будет именно так, — и выиграл пари.)

Немедленно возникло подозрение, что все или почти все так называемые радиозвезды — в действительности сталкивающиеся галактики, и были предприняты поиски других таких случаев, да и вообще любых пекулярных (от латинского слова *peculiaris*), т. е. странных галактик — с какими-нибудь отклонениями в форме или строении, которые могли бы означать, что там в огромных масштабах происходит что-то необычное.

Таких галактик было обнаружено много. К настоящему времени отождествлено с видимыми объектами более сотни радиогалактик, и многие из них оказались более чем странными. Например, галактика NGC 5128 —

шаровидная галактика с широкой полосой пыли, протянувшейся через ее середину. Высказывалось предположение, что и это, возможно, тоже сталкивающиеся галактики и что мы видим с ребра спиральную галактику (так что пыль ее ветвей закрывает ее центр), которая прокладывает себе путь сквозь шаровидную галактику.

Астрономы высчитали вероятность столкновения галактик и пришли к выводу, что она куда выше, чем вероятность столкновения звезд. Солнце, например, имеет в диаметре 1 390 000 км и находится от своей ближайшей соседки на расстоянии в 40 000 000 000 000 км. Если считать это типичным случаем, то среднее расстояние между звездами более чем в 30 000 000 раз превышает их диаметр. Поэтому гораздо более вероятно, что бесцельно блуждающая звезда пройдет по пустому пространству между звездами, а не угодит в относительно крохотное тело — другую звезду.

С другой стороны, диаметр нашей Галактики составляет 100 000 световых лет, а наша ближайшая соседка, галактика Андромеды, находится от нас на расстоянии в 2 300 000 световых лет. Если считать это типичным случаем, то среднее расстояние между галактиками оказывается примерно в 20 раз больше их диаметра. Пространство гораздо гуще населено галактиками, чем галактики — звездами, и соответственно столкновения между галактиками гораздо вероятнее столкновений между звездами.

После открытия сталкивающихся галактик в Лебедь было подсчитано, что в нашей части Вселенной на миллиард галактик должно приходиться по пять сталкивающихся пар и что в скоплениях галактик столкновения должны случаться еще чаще. В скоплении из 500 галактик в созвездии Волосы Вероники, согласно расчетам, в каждый данный момент должно происходить по крайней мере два столкновения и каждая галактика в нем на протяжении своего существования должна пережить по несколько столкновений.

Разумеется, когда галактики сталкиваются и проходят друг сквозь друга, не может быть и речи о массовых столкновениях звезд. Расстояния между звездами чрезвычайно велики по сравнению с их собственными разме-

рами, и когда одна галактика проходит через другую, можно не опасаться, что какие-то звезды одной из них столкнутся со звездами другой. Однако пылевые облака одной из них почти непременно столкнутся с пылевыми облаками другой и пройдут друг сквозь друга, возможно, именно это и служит непосредственным источником микроволнового излучения.

Это предположение в известной мере подтверждается фактами: когда положение радиисточника в Лебедь было определено еще точнее, оказалось, что микрорадиоволны исходят не из свободных от пыли ядер, находящихся в процессе столкновения, а из двух точек, расположенных далеко по сторонам от этих ядер, — очевидно, из спиральных рукавов, где сконцентрирована пыль.

### ***Взрывающиеся галактики***

Теория столкновения галактик прожила веселую, но короткую жизнь. Прежде всего астрономов начал мучить вопрос об энергии.

Обычные галактики вроде нашей испускают в форме радиоволн примерно 10 000 000 000 000 000 000 000 000 (десять тысяч триллионов триллионов) киловатт энергии. Это равно мощности приблизительно тысячи отдельных радиисточников вроде Кассиопеи А.

Это ужасительный факт. Вполне логично объяснить микрорадиоволновое излучение обычной галактики тем, что она содержит несколько тысяч остатков Сверхновых. Такая цифра, безусловно, не чрезмерно велика. Микрорадиоволновое излучение обычной галактики составляет лишь миллионную долю энергии, излучаемой ею в виде света, и это тоже не вызывает особого недоумения.

Однако даже самая слабая из радиогалактик излучает в пространство в виде микрорадиоволн в 100 раз больше энергии, чем обычная галактика. Микрорадиоволновое излучение Лебедя А в миллион раз мощнее микрорадиоволнового излучения обычной галактики. Собственно говоря, Лебедь А излучает в форме микрорадиоволн примерно столько же энергии, сколько и в виде света.

Картина начинала выглядеть загадочно, и чем больше над этим думали, тем труднее было объяснить такую



интенсивность микрорадиоволнового излучения. Выяснилось, например, что энергия микрорадиоволнового излучения Лебедя А примерно равна всей энергии движения предположительно сталкивающихся галактик. Казалось невероятным, чтобы энергия столкновения целиком перешла в микрорадиоволны. Ведь тогда вся масса одной галактики должна была бы стать неподвижной по отношению к другой, а как это могло произойти? Путем столкновения десяти миллиардов звезд? Невозможно! Но даже если бы такое столкновение произошло, каким образом вся его энергия могла преобразоваться в микрорадиоволны? Ведь значительная ее часть могла бы излучаться в других диапазонах спектра!

Кроме того, к концу 50-х годов стала все больше распространяться теория, что микрорадиоволновое излучение различных радиисточников создается синхротронным излучением электронов высокой энергии, движущихся в сильном магнитном поле (см. стр. 318). А это означало, что кинетическая энергия столкновения должна переходить не прямо в микрорадиоволны, а в электроны высокой энергии, которые затем должны быть захвачены магнитным полем. Однако невозможно было предложить правдоподобного механизма такого превращения кинетической энергии в электроны высокой энергии.

Результаты наблюдений также противоречили теории сталкивающихся галактик. Чем больше радиисточников отождествлялось с отдельными галактиками, тем труднее становилось игнорировать видимые детали этих галактик как признаки столкновения. Да, конечно, микрорадиоволновое излучение некоторых «странных» галактик представлялось необычным, но в их внешнем облике не было ничего странного. Они казались самыми обыкновенными галактиками, ведущими одинокую жизнь и не обнаруживающими признаков какого-либо столкновения, и все же они были мощнейшими источниками микрорадиоволн.

И постепенно начала возникать новая точка зрения. Может быть, это вовсе не столкновение двух галактик, а взрыв одной галактики?

Возьмем, например, галактику NGC 1068. Это слабая радиогалактика, микрорадиоволновое излучение кото

рой превышает излучение обычной галактики только в 100 раз. Однако это излучение, по-видимому, все целиком поступает из маленького участка в самом ее центре. Столкновение галактик, содержащих облака пыли, должно было бы вызвать излучение в гораздо большем

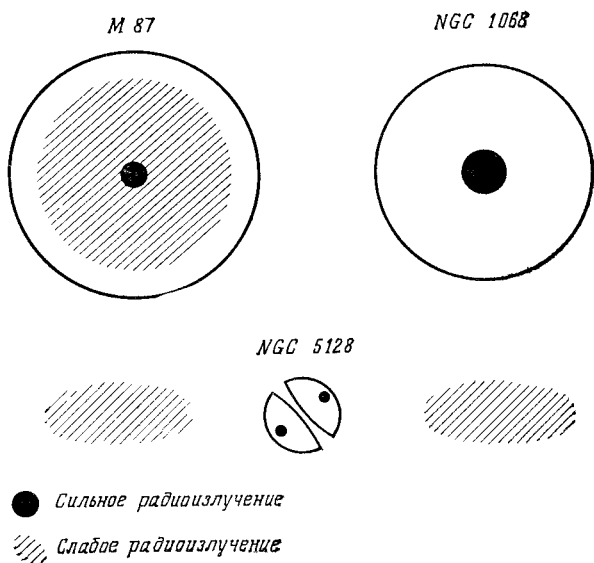


Рис. 39. Источники радиоизлучения в других галактиках.

объеме пространства и уж, во всяком случае, не в центре, где нет пыли. С другой стороны, взрыв должен был бы произойти именно в центре, где звезды наиболее скучены и где легко может произойти катастрофа, захватывающая большое число звезд в относительно короткое время. Если это так, то мы, возможно, наблюдаем в NGC 1068 самое начало подобной катастрофы. Излучение микрорадиоволн все еще сосредоточено в начинающем взрываться центре и все еще невелико.

Следующая стадия того же процесса, возможно, представлена галактикой NGC 4486, которая более известна

как М 87 по своему номеру в каталоге Мессье. В ее центре также имеется мощный источник микрорадиоволн, но, кроме того, источником микрорадиоволнового излучения, хотя и более слабым, является ореол вокруг ее центра — ореол, заполняющий почти весь ее видимый диск. Это выглядит так, словно бешеная ярость центрального взрыва уже распространилась на десятки тысяч световых лет во всех направлениях и М 87 испускает микроволны в 100 раз интенсивнее, чем NGC 1068. Но интересное всего следующее обстоятельство: внимательное изучение М 87 с помощью телескопов показало, что из ее центра вырывается светящаяся струя. Может быть, это вещество, выброшенное силой центрального взрыва в межгалактическое пространство? Свет этой струи, как доказал Бааде, поляризован. Это еще одно свидетельство в пользу теории Шкловского о синхротронном излучении как источнике излучения микрорадиоволн.

Возможно, на еще более поздней стадии главный источник излучения микрорадиоволн полностью покидает галактическое ядро и располагается по обеим его сторонам. Например, у NGC 5128, испускающей микрорадиоволны с той же интенсивностью, что и М 87, есть четыре области микрорадиоволнового излучения. Пара более интенсивных источников излучения находится по обе стороны пылевой полосы, пара более слабых и более протяженных — по обе стороны видимой части галактики. Источник микрорадиоволн разделился, и половины его разошлись к краям ядра галактики, причем какая-то его часть была выброшена в противоположных направлениях далеко за пределы ядра. А может быть, полоса пыли — это вовсе не ребро спиральной галактики, погружающейся в шаровидную, как предполагалось вначале, а результат тех процессов, которые происходили в пораженном катастрофой центре галактики? Может быть, полоса пыли — это гигантское облако распавшегося звездного вещества, которое случайно было выброшено в нашу сторону?

NGC 5128 находится относительно недалеко от нас (всего в 15 миллионах световых лет), и мы можем различить в ней некоторые подробности. Если бы она была намного дальше, полоса пыли и все, что ее окружает,

уменьшились бы настолько, что различить можно было бы только два пятнышка света, почти соприкасающиеся друг с другом. И их можно было бы принять за две галактики, которые сближаются плоскими сторонами, точно оркестровые тарелки.

Но ведь именно такой парой галактик считался источник радиоизлучения Лебедь А. Так, может быть, там происходит то же, что и в NGC 5128, а мы просто хуже видим этот радиоисточник, поскольку расстояние до него не 15 миллионов световых лет, а 700 миллионов? Если это так, то там взрыв достиг уже более поздней стадии, ибо все вещество, испускающее микрорадиоволны, выброшено за пределы ядра галактики в диаметрально противоположные стороны. То же относится и к другим галактикам, в которых радиоисточники находятся по обе стороны от ядра. Тем не менее в этих галактиках все еще сохраняются следы катастрофы, так как их оптические спектры говорят о невероятно высоких температурах.

А на самой последней стадии, возможно, источники радиоизлучения становятся уже настолько рассеянными и слабыми, что мы не можем их обнаружить, и галактика снова (насколько позволяет судить радиоастрономия) превращается в обычную.

И все же, пока гипотеза сталкивающихся галактик медленно умирала, а гипотеза взрывающихся галактик выходила на первый план, доказательства в пользу этой последней по-прежнему опирались только на выводы от носительно природы микрорадиоволнового излучения, сделанные в 50-е годы. Единственным наглядным свидетельством в пользу теории взрыва служила струя в M 87, да и это свидетельство было не совсем убедительным, поскольку струя вырывается только в одном направлении, в то время как подобные явления должны развиваться симметрично в двух противоположных направлениях.

Необходимые наглядные доказательства были получены в начале 60-х годов. В 1961 г. американский астроном Кларенс Роджер Линдс (род. в 1928 г.) пытался уточнить положение слабого радиоисточника 3C 231. Участок, охватываемый размытым источником, включал ряд галактик в созвездии Большой Медведицы, самой

большой и заметной из которых была М 81. Считалось, что источник этот и находится в М 81. Однако, когда Линде уточнил его положение, он оказался не в М 81, а в соседней галактике меньших размеров М 82

Бесспорно, М 82 — гораздо более «странная» галактика, чем М 81. Полученные ранее фотографии показывали, что она необычайно богата пылью и что внутри нее невозможно различить отдельные звезды, хотя она находится от нас всего в 10 миллионах световых лет. Кроме того, выше и ниже ее можно было заметить слабые признаки газовых или пылевых волокон.

Как только М 82 была признана источником радиоизлучения, к ее оптическим свойствам был проявлен особый интерес. Американский астроном Аллан Рекс Сейджей (род в 1926 г.) сфотографировал ее с помощью 200-дюймового телескопа, используя специальный красный фильтр, преимущественно пропускающий излучение горячего водорода. Он рассуждал так: если в центре этой галактики происходит какой-то процесс, связанный с выбросом вещества, то вещество это будет в основном водородом, а увидеть его будет легче, если исключить свет других источников.

Он оказался прав. Было совершенно ясно видно, что в галактике М 82 происходит гигантский взрыв. На фотографии с трехчасовой выдержкой получились струи водорода длиной до тысячи световых лет, вырывающиеся из ядра галактики. Общая масса выбрасываемого водорода была эквивалентна по меньшей мере массе 5 000 000 средних звезд. Судя по скорости движения этих струй и по расстоянию, которое они уже прошли, взрыв, каким он виден сейчас с Земли, продолжается уже 1 500 000 лет. По-видимому, он еще находится на ранней стадии и не успел перейти в более позднюю, когда появляется двойной источник по обе стороны галактики.

Свет М 82 поляризован, и характер его поляризации показывает, что эта галактика обладает сильным магнитным полем. Вновь подтверждается теория синхротронного излучения. (В 1965 г. было обнаружено, что синхротронное излучение приходит и из ореола вокруг М 81 — возможно, это ответная реакция на поток энергии, приходящий от ее взрывающейся соседки.)

Может быть, взрывы галактик — это сравнительно обычное явление, может быть, через эту стадию проходят многие галактики, как многие звезды проходят через стадию Сверхновой? Прошла ли через нее наша собственная Галактика? Взрывалось ли ядро нашей Галактики? Если да, то взрыв этот не мог быть ни очень большим, ни очень недавним, так как по бокам нашей Галактики нет никаких признаков сильных радионисточников. Однако из центра на окраины Галактики непрерывно течет водород (см. стр. 323). Что это — процесс, обычный для всех галактик, или последние угасающие отголоски взрыва, случившегося миллиарды лет назад?

### *Далекie радионисточники*

Но чем вызываются эти взрывы?

Поскольку наиболее колоссальные взрывы, известные нам в субгалактических масштабах, — это Сверхновые, то вполне логично предположить, что взрыв галактики происходит из-за одновременного или почти одновременного взрыва множества Сверхновых. Такую гипотезу выдвинул американский астроном Джеффри Бербидж.

Мы можем представить себе большое число массивных звезд, приблизившихся к той стадии, когда им предстоит вспыхнуть Сверхновыми. Когда взорвется первая из них, ее излучение может чуть-чуть нагреть соседние звезды и, нарушив их равновесие, вызвать взрыв и у них. Они же в свою очередь воздействуют на соседок. Разумеется, скорее всего это может произойти в центре галактики, где звезды наиболее скучены и где этот эффект «детонации» Сверхновых может развиваться с наибольшей быстротой (для того чтобы излучение покрыло расстояние от одной звезды до другой, тоже требуется определенное время).

Но даже такое множество Сверхновых не в состоянии обеспечить достаточного количества энергии. Потребуется весь водород десяти миллиардов звезд величиной с наше Солнце, чтобы высвободить ту энергию, которую испускают в виде микрорадиоволн такие гигантские ра-

диоисточники, как Лебедь А, даже если предположить, что вся энергия водородного синтеза полностью, на 100%, перейдет в радиоизлучение. Такая катастрофа должна захватить все звезды в ядре галактики средних размеров.

Поголовное истребление всех звезд — довольно драматический способ обойти затруднение. Нельзя ли найти какой-либо другой выход из этого положения?

Предположим, например, что на самом деле там происходит взаимодействие вещества и антивещества (см стр 303). При аннигиляции вещества и антивещества в энергию превращается вся участвующая в ней масса, а не 1% ее, как при слиянии ядер. В таком случае всю энергию Лебеда А могли бы поставить не десять миллиардов Сверхновых, а какая-нибудь сотня миллионов аннигилирующих звезд (половина их — из вещества, а половина — из антивещества).

Но все же и это — не очень удобное объяснение. У нас нет никаких прямых доказательств существования больших масс антивещества. Если бы антивещество существовало, это объяснило бы явления вроде струи из М87, которую можно было бы истолковать как вторжение извне клина антивещества (или определенного количества вещества, если сама М87 состоит из антивещества). Но как объяснить возникновение источников радиоизлучения на противоположных сторонах галактики? Одновременное и симметричное вторжение облаков антивещества с двух сторон представляется маловероятным. Если же предположить, что сам процесс аннигиляции произошел в центре, а два облака по обе стороны галактики явились последующим результатом взрыва, то как могло антивещество проникнуть в центр галактики, не вызвав предварительно аннигиляции на окраинах?

Фред Хойл, однако, указывает, что в этом случае можно вернуться к энергии тяготения. Если предположить достаточно большую исходную массу и достаточно катастрофическое сжатие, то можно объяснить выделение гигантского количества энергии. Действительно, количество выделяемой при этом энергии на единицу массы может быть в 100 раз больше количества энергии, выделяемой при обычном превращении водорода в

железо, и равно количеству энергии, производимой при аннигиляции вещества и антивещества.

Можно представить себе ядро галактики, в котором звезды расположены так тесно, что их взаимное поле тяготения достаточно интенсивно для преодоления тех сил, которые удерживают их вдаль друг от друга. Какие-то звезды начинают сближаться, поле тяготения усиливается, в губительный водоворот вовлекаются другие звезды, пока, наконец, масса, равная примерно ста миллионам звезд и образующая единую сверхзвезду, не сливается, превращаясь в гигантскую нейтронную звезду. Энергии, выделенной при этом, было бы вполне достаточно для объяснения существования источника Лебедь А.

Преимущество такой связанной с тяготением теории перед теорией о взаимодействии вещества и антивещества заключается в том, что она не предполагает никакого столкновения. Галактика из одного вещества может проделать все это в одиночку. И галактика из одного антивещества — тоже.

Но правильно ли мы поступаем, когда стараемся обойтись только известными фактами? Сто лет назад Гельмгольц пытался объяснить гигантское количество энергии, вырабатываемой Солнцем, с помощью известных в то время сил и был вынужден предположить, что срок жизни солнечной системы весьма мал. Механизм излучения Солнца и других звезд удалось объяснить с подлинным изяществом, только когда был открыт новый вид энергии — ядерная энергия. Так не свидетельствует ли еще более гигантское излучение энергии некоторыми радиоисточниками о существовании видов энергии, не известных нам и по сей день? Этот вопрос задают себе многие астрономы.

Но какова бы ни была природа чудовищной энергии, излучаемой мощными радиоисточниками, самое их существование может оказать большую помощь всем, кто интересуется проблемами космологии и космогонии.

В середине 50-х годов наиболее удаленные обыкновенные галактики, которые можно было увидеть в оптические телескопы, находились от нас примерно в двух миллиардах световых лет. Это примерно одна шестая



расстояния до окраины наблюдаемой Вселенной, и этого далеко не достаточно для того, чтобы решить, является ли наша Вселенная гиперболической, пульсирующей или стационарной (см стр. 263).

Исследование Вселенной с помощью микрорадиоволн дает надежду проникнуть гораздо дальше. Источники света почти неисчислимы, а источники радиоизлучения немногочисленны. В нашей Галактике в телескопы можно наблюдать миллиарды звезд, но в ней есть только около сотни источников радиоизлучения. Вне нашей Галактики есть миллиарды обыкновенных галактик, но только около тысячи радиогалактик. Это означает, что отдельные источники радиоволн, даже очень далекие, имеют гораздо меньше шансов затеряться среди более близких радиоисточников, и потому их легче обнаруживать и изучать, чем оптические объекты, находящиеся на том же расстоянии.

Например, Лебедь А, отделенный от нас расстоянием в 700 000 000 световых лет, настолько мощнее более близких источников радиоизлучения, что является второй по яркости радиозвездой неба. Ярче его только Кассиопея А. Более того, наши радиотелескопы способны находить радиоисточники с интенсивностью, равной интенсивности Лебеда А, на расстояниях, на которых бесцельны наши лучшие оптические телескопы. Микрорадиоволновое излучение Лебеда А легко принимается на расстоянии, на котором его свет воспринимался бы лишь как неуловимо слабое мерцание. Поэтому пространственное распределение очень далеких источников радиоизлучения может помочь нам сделать правильный выбор между моделями Вселенной, тогда как распределение менее отдаленных обыкновенных галактик, различных для нас только благодаря их видимому свету, ничего нам не дало бы.

Очень приближенно можно предположить, что в среднем более слабые радиогалактики находятся от нас дальше, чем более мощные, — точно так же как Хаббл исходил из предположения, что менее яркие галактики находятся от нас дальше, чем более яркие (см. стр. 225).

Исходя из такого предположения, английский астроном Мартин Райл (род. в 1918 г.) попытался проанали-

зировать, как возрастает число радиоисточников с ослаблением их интенсивности; то же сделал когда-то Гершель в отношении звезд (см стр. 61).

Если верна теория стационарной Вселенной, то среднее расстояние между галактиками всегда было таким же, как теперь. В этом случае излучение отдаленных радиоисточников, которое было послано миллиарды лет назад и потому представляет Вселенную, на миллиарды лет более молодую, чем соседняя с нами Вселенная, должно показать, что эти отдаленные радиоисточники расположены в пространстве не теснее, чем радиоисточники среди соседних с нами галактик. И следовательно, число радиоисточников по мере уменьшения их интенсивности должно возрастать согласно точной математической формуле.

Подсчитывая звезды, Гершель обнаружил, что возрастание их числа по мере уменьшения яркости происходит медленнее, чем того требовала формула, и из этого он сделал вывод о конечности Галактики. Райл обнаружил обратную картину: число радиоисточников по мере их ослабления возрастало быстрее, чем это следовало из формулы. Создавалось впечатление, что на дальних расстояниях радиоисточники расположены теснее, чем по соседству с нами.

Когда в середине 50-х годов он объявил об этом, его анализ, казалось, подтверждал теорию Большого Взрыва и свидетельствовал в пользу гиперболической или пульсирующей Вселенной. Ведь в юной Вселенной, почти сразу после Большого Взрыва, галактики были расположены ближе друг к другу. А это означает, что в дальних областях пространства радиоисточники, излучение которых, доходящее до нас сейчас, было послано в период юности Вселенной, должны быть более многочисленными, чем по соседству с нами.

В тот момент данные Райла, казалось, согласовались также и с теорией возникновения радиоизлучения в результате столкновения галактик. Ведь если в далеком прошлом (а следовательно, и на далеких расстояниях от нас) галактики располагались теснее, то можно было бы ожидать более частых столкновений, а значит, и большей многочисленности радиогалактик.

Однако и отказ от теории сталкивающихся галактик не подрывает позиций Райла при условии, что собранные им данные верны. Вполне возможно, что взрывающиеся ядра характерны для юных галактик, что в первый миллиард лет своего существования галактики имеют больше шансов перенести эту катастрофу, чем во второй, а во второй — больше, чем в третий, и т. д. В этом случае взрывы должны быть многочисленнее в юной Вселенной (а следовательно, в самых отдаленных ее областях, куда только достигают наши радиотелескопы), чем в современной Вселенной вблизи нас.

Собственно говоря, не обязательно искать объяснения этого различия. Достаточно уже самого факта его существования. Если имеется какое-то различие общего характера между Вселенной по соседству с нами и Вселенной вблизи ее окраин, значит, теория стационарной Вселенной исключается, ибо самая суть понятия стационарности заключается в отсутствии значительных различий во времени и в пространстве.

Разумеется, можно подвергать сомнению данные Райла. Они получены путем обнаружения и измерения очень слабых источников радиоизлучения, а это даже при самых оптимальных условиях не гарантирует особой точности и надежности. Хойл, например, вопреки исследованиям Райла упрямо отстаивал теорию стационарной Вселенной и утверждал, что данные, полученные в результате изучения микрорадиоволнового излучения, еще недостаточно надежны для того, чтобы на их основе можно было строить окончательные выводы.

И затем совершенно неожиданно было обнаружено явление, благодаря которому перед астрономами открылись даже еще более широкие просторы, нежели благодаря далеким источникам радиоизлучения Райла, и главное, теперь они вернулись назад в оптический диапазон спектра, в котором при прочих равных условиях они могли видеть все гораздо отчетливее.

## **Квазары**

Как указывалось выше, уже в 1948 г. было установлено, что во многих случаях радиоизлучение исходит из почти точечных источников, занимающих очень ограни-

ченные участки неба. Средний диаметр этих радиоисточников составлял примерно  $30''$ . Это означало, что все такие радиозвезды, вместе взятые, легко могли бы уместиться на площади, ненамного превосходящей половину полной Луны.

И все же имелось несколько источников радиоизлучения, которые были необычно малы даже по сравнению с этими средними радиозвездами. По мере того как улучшалась методика определения точного положения источников радиоизлучения, выяснялось, что некоторые из них имеют диаметр в  $1''$  и даже меньше.

Такая необычная компактность наводила на предположение, что если обычные радиозвезды на самом деле были радиогалактиками, то такие компактные радиозвезды — самые настоящие радиозвезды. Безусловно, это объяснило бы их крошечные размеры.

Наиболее известными среди таких компактных источников радиоизлучения были 3С 48, 3С 147, 3С 196, 3С 273 и 3С 286. 3С — это сокращение, означающее «Третий кембриджский каталог радиозвезд» (список, составленный Райлом с сотрудниками), а цифры показывают порядковый номер этого источника радиоизлучения в списке.

В 1960 г. Сендейдж с помощью 200-дюймового телескопа исследовал участки, содержавшие эти компактные радиоисточники, и в каждом случае таким источником, по-видимому, оказалась звезда. Точное положение 3С 273, самого мощного из этих источников, установил Сирил Хазард в Австралии, зафиксировавший момент, когда его заслонила Луна. Эти звезды имелись на прежних фотографиях неба и всегда считались всего лишь слабыми членами нашей собственной Галактики. Но после того, как они оказались источниками необычного микрорадиоволнового излучения, их принялись тщательно фотографировать, и оказалось, что это вовсе не так. С некоторыми из этих объектов были связаны слабые туманности, а у 3С 273 были обнаружены признаки крохотной струи вырывающегося из него вещества.

Таким образом, хотя эти компактные источники радиоизлучения и выглядели как звезды, они могли вовсе не быть обычными звездами. Впоследствии их называли

квазизвездными источниками («квазизвездный» означает «звездоподобный»). По мере того как этот термин приобретал все большую важность для астрономии, он употреблялся все чаще, а «квазизвездный источник радиоизлучения» — название чересчур длинное, и поэтому оно сократилось в «квазар» — довольно безобразное словечко, которое заняло теперь прочное место в астрономической терминологии.

Квазары были достаточно интересными объектами, и их следовало подвергнуть исследованию с помощью всех средств, имеющихся в распоряжении астрономии, а это означало и спектроскопические исследования. Джесси Гринстейн и Маартен Шмидт приложили все усилия, чтобы получить их спектры, а получив, обнаружили в них незнакомые линии, которые они не сумели опознать. Более того, линии в спектре одного квазара не повторялись в спектре ни одного из других. Это было непонятно, но все-таки квазары продолжали считаться членами нашей Галактики.

Но вот в 1963 г. Шмидт снова обратился к спектру ЗС 273. В нем имелось шесть линий, и интервалы между четырьмя из них были такими, что вместе они напоминали последовательность линий в спектре водорода, однако на том месте, где они находились, никаким линиям водорода быть не полагалось. А что, если эти линии должны были находиться в другой части спектра, а здесь очутились только потому, что сместились к красному концу спектра? В таком случае это было бы громадное смещение — оно указывало бы на удаление со скоростью свыше 40 000 км/сек. Это казалось невероятным, но, с другой стороны, если принять такое смещение, то можно было опознать и остальные две линии: одна из них соответствовала бы атому кислорода без двух электронов, а другая — атому магния тоже без двух электронов.

Шмидт и Гринстейн обратились к спектрам других квазаров и убедились, что и там тоже нетрудно опознать линии, если предположить наличие огромных красных смещений.

Такие колоссальные красные смещения могли быть вызваны только общим расширением Вселенной, но если красное смещение было связано с расстоянием сог-

ласно закону Хаббла (см. стр. 225), то получилось, что квазары никак не могут быть обыкновенными звездами нашей Галактики. Приходилось считать, что они удалены от нас больше всех других известных объектов — на миллиарды световых лет.

Принять подобный вывод было трудно, а потому красное смещение попытались объяснить какими-нибудь другими причинами. Может быть, квазары обладают колоссальными массами и соответственно полями тяготения такой силы, что они вызывают гигантское эйнштейновское красное смещение (см. стр. 193). В этом случае они могли бы находиться и недалеко от нас. Однако теоретические исследования ясно показали, что этого быть не может. Красное смещение в спектре квазаров должно порождаться гигантской скоростью.

Но в таком случае, быть может, они все-таки находятся не очень далеко и приобрели огромные скорости не за счет расширения Вселенной, а в результате какого-то взрыва в центре нашей Галактики (так сказать, Малого Взрыва)? В этом случае все квазары должны были бы уноситься от центра Галактики. И некоторые из них при этом могли бы приближаться к нам и показывать сильнейшее фиолетовое смещение. Правда, если взрыв произошел так давно, что все квазары, движущиеся по направлению к нам, уже успели пройти мимо нас, то фиолетового смещения быть не должно. Однако в этом случае некоторые квазары двигались бы более или менее поперек луча нашего зрения, и будь они членами нашей Галактики, хотя бы и очень отдаленными, они при их огромной скорости должны были бы обладать измеримым собственным движением. А ни у одного из них собственного движения замечено не было.

К середине 60-х годов было твердо опознано уже свыше 40 квазаров и изучены спектры большинства из них. Все они до единого показали огромное красное смещение, даже еще большее, чем у 3C 273. И ни у одного из них не было обнаружено собственного движения.

Более того, об огромных расстояниях до квазаров, кроме красного смещения, свидетельствовал и еще один факт. В микрорадиоволновом излучении 3C 273 имеется линия поглощения в диапазоне 21 см. Сама эта линия

поглощения показывает красное смещение, согласно которому водородное облако, способное поглощать в этом диапазоне, должно находиться от нас на расстоянии в 40 миллионов световых лет. Между нами и 3С 273 как раз на расстоянии в 40 миллионов световых лет находится скопление галактик в созвездии Девы. Вполне логично предположить, что в этом скоплении имеется облако газообразного водорода и что именно оно дает радиолинию поглощения в диапазоне 21 см.

В этом случае объект 3С 273, находящийся за скоплением галактик в созвездии Девы, никак не может быть членом нашей Галактики. А раз уж он находится за этим скоплением, то пришлось признать, что расстояние до него именно таково, каким оно должно быть, судя по красному смещению. Но если один квазар находится очень далеко от нас и если его красное смещение соответствует этому колоссальному расстоянию, то довольно трудно утверждать, будто еще большие красные смещения других квазаров объясняются не расстоянием, а каким-то другим фактором.

Большинство открытых позднее квазаров находится дальше тех, которые были открыты первыми. В мае 1965 г. Шмидт обнаружил, что квазар 3С 9 имеет красное смещение, соответствующее скорости, равной 80% скорости света, а позже в том же году было обнаружено, что другой квазар удаляется от нас со скоростью, составляющей 81% скорости света (т. е. примерно 243 000 км/сек). Такие объекты, согласно расчетам Сендейджа, должны находиться от нас на расстоянии почти в 9 миллиардов световых лет, и свет, который приходит к нам от них, был излучен почти 9 миллиардов лет назад. Таким образом, мы уже приближаемся ко времени Большого Взрыва, если он действительно был.

Однако, согласившись с правильностью определения колоссальных расстояний, отделяющих нас от квазаров, астрономы столкнулись с некоторыми трудными проблемами и загадками. Если квазары действительно отделены от нас теми невероятными расстояниями, на которые указывает их красное смещение, то, чтобы иметь свою видимую яркость, они должны обладать неслыханной светимостью. Они как будто не только испускают гигант-

ские количества радиоволн, но и излучают колоссальный поток видимого света. Светимость квазаров превосходит светимость целой обычной галактики в 30, а то и в 100 раз!

Но раз это так, то, если бы квазары имели форму и внешний вид обычной галактики, они должны были бы содержать в 100 раз больше звезд, чем обычная галактика, и быть в пять-шесть раз больше нее по диаметру и толщине. Даже на таком невероятном расстоянии они представлялись бы в 200-дюймовый телескоп овальными светлыми пятнышками. Однако они выглядят звездчодобными точками, и это, по-видимому, доказывает, что при всей своей необычайной яркости они гораздо меньше обыкновенных галактик.

Предположение, что их размеры невелики, подтверждается еще одним явлением: оказалось, что количество излучаемой квазарами энергии, как в виде света, так и в виде радиоволн, заметно колеблется. На протяжении нескольких лет были зарегистрированы подъемы и спады до 50%.

Для того чтобы излучение могло столь заметно изменяться за такой короткий срок, тело должно быть небольшим. Малые колебания могут возникнуть из-за изменения яркости ограниченных участков данного тела, но большие колебания должны охватывать все тело целиком. Если же они охватывают все тело целиком, то какое-то изменение должно за наблюдаемый срок колебания распространиться по всей поверхности этого тела. Но никакое изменение не может распространяться быстрее света, так что, если яркость квазара испытывает заметные колебания за период в несколько лет, он не может иметь диаметр больше одного светового года.

Объяснить это сочетание крохотного объема и колоссальной светимости чрезвычайно трудно, и поэтому ученые постоянно ищут каких-то указаний на то, что квазары все-таки находятся недалеко от нас. Если бы квазары находились близко к нам, то они могли бы быть достаточно яркими и не обладая исключительной светимостью, светимость их оказалась бы как раз такой, какую следует ожидать от тела с поперечником в один световой год. Но если мы будем исходить из того (а пока,



но-видимому, мы вынуждены это делать), что квазары действительно чрезвычайно далеки от нас, тогда нам приходится представить себе тело с поперечником всего в один световой год, и все же обладающее светимостью в 100 раз превышающей светимость обыкновенной галактики с поперечником в 100 000 световых лет. Как можно это объяснить? Предлагалось немало весьма смелых объяснений, например что квазар представляет собой колоссальное скопление нейтрино. Согласно этому мнению, квазар может быть нейтринной звездой.

Одна интересная возможность заключается в том, что идея Хойла о катастрофическом сжатии гигантского масштаба так же хорошо подходит для квазаров, как и для мощных источников радиоизлучения вроде Лебедя А. Что если такое сжатие охватило буквально всю галактику, а высвобожденная им энергия выбросила далеко за ее пределы все вещество на окраинах, которое не было в него втянуто? Не является ли квазар обнажившимся центром катастрофически сжимающейся галактики? И не может ли при этом в нем образоваться гигантское количество нейтрино?

Очень соблазнительно провести параллель между катастрофами звезд и катастрофами галактик. В звездном масштабе простые Новые излучают много энергии, но сохраняют свое вещество и форму звезды, тогда как Сверхновая выбрасывает значительную или подавляющую часть своего вещества и с катастрофической силой сжимается в белого карлика. Так, может быть, в галактическом масштабе обычные взрывающиеся галактики — это, так сказать, Новые, излучающие много энергии, но сохраняющие свое вещество и форму галактики, а некоторые особенно чудовищные катаклизмы сходны со Сверхновыми, и при них значительная часть вещества галактики выбрасывается в пространство, а оставшаяся с катастрофической силой сжимается в квазар? (Ведь видимое излучение квазаров в некоторых отношениях действительно напоминает свет белых карликов.)

Но если такое объяснение природы квазаров верно, то срок их жизни должен быть невелик. Они не могут излучать такую невероятную энергию в течение долгого времени. Согласно некоторым расчетам, квазар может

существовать в виде квазара только около миллиона лет. В этом случае квазары, которые мы видим, стали квазарами лишь очень недавно (в космических масштабах времени), и должно существовать немало объектов, которые когда то были квазарами и перестали ими быть.

В 1965 г. Сендейдж сообщил об открытии объектов, которые действительно могут быть состарившимися квазарами. Они похожи на обычные голубые звезды, но, как и квазары, обладают колоссальным красным смещением. Они так же далеки, ярки и невелики, как квазары, но им не хватает микрорадиоволнового излучения. Сендейдж назвал их голубыми звездоподобными объектами, или сокращенно ГЗО.

ГЗО, по-видимому, более многочисленны, чем квазары, — примерно в 50 раз, и, согласно одной оценке, в пределах досягаемости наших телескопов находится 400 000 ГЗО, но по другим оценкам их значительно больше. Если они действительно развились из квазаров, то их в 50 раз больше потому, что в стадии ГЗО они пребывают в 50 раз дольше — примерно 50 000 000 лет. Еще более старые квазары угасают уже до такой степени, что их нельзя обнаружить ни по радиоволновому излучению, ни по видимому свету. Какую форму они принимают и как их можно опознать, пока не известно.

Самый факт существования квазаров и ГЗО — это тяжелый, если не смертельный, удар по теории стационарной Вселенной. Все они очень далеки от нас и, следовательно, образовались много миллиардов лет назад. Поскольку поблизости от нас их обнаружить не удастся, значит процессы, при которых они возникали, теперь прекратились (впрочем, поблизости от нас могут находиться давно угасшие квазары, которые мы просто еще не умеем опознавать). А это в свою очередь означает, что миллиарды лет назад Вселенная во многих важных отношениях была иной.

Если Большой Взрыв произошел около 15 миллиардов лет назад, картина выглядит вполне логичной. Миллиарды лет назад Вселенная была меньше, горячее, моложе и наполненнее, чем сейчас, и нет ничего удивительного в том, что катастрофические события вроде образования квазаров случались тогда часто, а в нынеш-

ней более обширной, более холодной, старой и пустой Вселенной они не случаются вовсе

Собственно говоря, изучая распределения квазаров и ГЗО Сендейдж пришел к выводу, что не только можно считать доказанным Большой Взрыв но и можно решить, какой из двух вариантов теории Большого Взрыва верен — гиперболический или пульсирующий. Вселенная, утверждает Сендейдж, пульсирует с циклом, равным примерно 82 миллиардам лет.

Другими словами, процесс расширения Вселенной после Большого Взрыва постепенно затухает, и, наконец, по истечении 41 миллиарда лет она на мгновение замирает. Затем она начинает сжиматься и сжимается еще 41 миллиард лет, пока не превращается вновь в «космическое яйцо», а тогда происходит следующий Большой Взрыв. Мы живем в эпоху, когда истекла, пожалуй, четверть срока одного из циклов расширения, а самые далекие квазары, которые мы видим, были почти свидетелями последнего Большого Взрыва.

Согласно сообщению, сделанному в 1965 г. Лабораториями телефонной компании «Белл» в Нью-Джерси, после того как были отождествлены все источники космического микрорадиоволнового излучения, остался еще слабый общий фон излучения. По некоторым теориям, вспышка излучения, сопровождавшая Большой Взрыв, должна была в наше время, через многие миллиарды лет, проявляться как фон микрорадиоволнового излучения космоса — как раз такой, какой обнаружен Лабораториями компании «Белл». Если это так, то человечество, возможно, в буквальном смысле слова слышит отголоски Большого Взрыва.

Если это толкование правильно, то нынешняя температура вещества, оставшегося от Взрыва равна, судя по характеру микроволнового излучения,  $3^{\circ}\text{K}$ , т. е.  $3^{\circ}$  выше абсолютного нуля. Предсказана была температура  $10^{\circ}\text{K}$ . Такое несоответствие, по-видимому, указывает на то, что исходная температура Большого Взрыва была ниже, чем предполагалось. А это может означать только, что при своем рождении Вселенная состояла не из чистого водородного газа, но уже тогда содержала значительную примесь гелия.

Теперь теорию стационарной Вселенной может спасти только открытие, что квазары и ГЗО все-таки находятся поблизости от нас. В этом случае светимость их не очень велика и они могут быть равномерно распределены во Вселенной, а наши приборы еще недостаточно чувствительны и способны обнаруживать их только поблизости от нас. Тогда их существование не будет свидетельствовать о важных различиях между далекими областями Вселенной и нашими окрестностями.

Кроме того, именно наличием квазаров и ГЗО объясняется неожиданно высокая численность далеких радиоисточников, найденная Райлом. Если они окажутся не особенно удаленными, то число радиоисточников будет возрастать с расстоянием только в ожидаемой пропорции, как того и требует теория стационарной Вселенной. И действительно, некоторые сообщения, сделанные весной 1966 г., дают основания полагать, что квазары связаны со «странными» галактиками, которые находятся далеко, но не на космологических расстояниях, т. е. не на таких, которые соответствуют их красному смещению. Такая относительная близость квазаров к нам ослабила бы позиции теории Большого Взрыва.

Однако эти признаки близости квазаров к нам, по-видимому, не производят особого впечатления на работающих в этой области ученых. На спасение теории стационарной Вселенной надежды как будто мало. Даже Хойл в 1965 г., наконец, сдался и принял теорию Большого Взрыва. Однако он высказал идею, что Большой Взрыв мог все-таки быть местным явлением, т. е. мы живем в «пузыре» Большого Взрыва внутри значительно большей Вселенной, которая в целом все-таки находится в стационарном состоянии. Однако в настоящее время, по-видимому, нет никаких способов проверить столь далеко идущее предположение.

\* \* \*

Ну вот, как я и обещал в начале книги, мы с вами повторили путь человечества в его попытках достичь непрерывно удаляющегося горизонта. Мы начали с ма-

ленького кусочка плоской Земли, которым когда-то исчерпывался весь мир людей, и остановились теперь на этапе, когда человек видит вокруг себя Вселенную с диаметром в 26 миллиардов световых лет, пульсирующую с гигантским периодом в 82 миллиарда лет.

И не нужно думать, что теперь мы исчерпали Вселенную до дна. Последние 400 лет астрономия развивалась все нарастающими темпами, и пока еще нет никаких признаков замедления этого процесса. За последнюю четверть века человек узнал о Вселенной больше, чем за всю свою предыдущую историю; что же ему еще предстоит узнать за следующую четверть века?

И если проникать в неведомое и проливать свет на то, что скрывалось во мраке — захватывающе интересное занятие, то впереди нас, безусловно, ждут все более и более захватывающие открытия

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>От редакции</b>	<b>5</b>
<b>Глава 1. Земля</b>	<b>9</b>
Введение	9
Плоская Земля	10
Шарообразная Земля	13
Размеры Земли	16
<b>Глава 2. Солнечная система</b>	<b>19</b>
Луна	19
Солнце	23
Параллакс	26
Размеры солнечной системы	31
<b>Глава 3. Звезды</b>	<b>38</b>
Небесный свод	38
Множественность солнц	45
Поиски параллаксов звезд	48
Рассогнание до ближайших звезд	52
<b>Глава 4. Галактика</b>	<b>57</b>
Парадокс Ольберса	57
Линза Гершеля	60
Движущееся Солнце	65
Звездные скопления	68
Переменные звезды	70
<b>Глава 5. Размеры Галактики</b>	<b>78</b>
Эффект Доплера	78
Спектр	79
Спектральные линии	85
Центр Галактики	89
Размеры Галактики	94
<b>Глава 6. Другие галактики</b>	<b>101</b>
Туманность Андромеды	101
Новые	107
Галактика Андромеды	111
Спиральные галактики	115

<b>Глава 7. Возраст Земли</b>	119
Момент количества движения	119
Сохранение энергии	125
Ядерная энергия	129
<b>Глава 8. Энергия Солнца</b>	135
Планетезимальная теория	135
Химический состав Солнца . . . . .	138
Температура поверхности Солнца	143
Температура в недрах Солнца	146
<b>Глава 9. Типы звезд</b>	151
Химический состав солнечной системы . . .	151
Спектральные классы . . . . .	155
Звезды-гиганты и звезды карлики . . .	159
Диаграмма Герцшпрунга — Рассела . . .	163
<b>Глава 10. Типы звезд</b>	167
Соотношение массы — светимость . . .	167
Межзвездный газ . . . . .	173
За главной последовательностью	179
<b>Глава 11. Взрывы звезд</b>	185
Белые карлики . . . . .	185
Сверхновые . . . . .	192
Умирающие звезды . . . . .	198
Звезды второго поколения . . . . .	204
<b>Глава 12. Эволюция галактик</b>	207
Вопрос о вечности . . . . .	207
Типы галактик . . . . .	210
Звездные населения . . . . .	213
<b>Глава 13. Удаляющиеся галактики</b>	220
Галактическое красное смещение . . . . .	220
Относительность . . . . .	224
Скопление галактик . . . . .	230
<b>Глава 14. Наблюдаемая Вселенная</b>	235
Снова парадокс Ольберса . . . . .	235
Постоянная Хаббла . . . . .	239
Пересмотренная шкала расстояний до цефед . . .	242
<b>Глава 15. Начало Вселенной</b>	249
Большой Взрыв . . . . .	249
Образование элементов . . . . .	255
До Большого Взрыва . . . . .	259
Непрерывное творение . . . . .	263

<b>Глава 16. Бомбардировка частицами</b>	<b>274</b>
Частицы, лишенные массы	274
Космические лучи	279
Источники космических лучей	283
<b>Глава 17. Фотоны большой энергии</b>	<b>289</b>
Спектр электромагнитного излучения	289
Нейтронные звезды	292
Антиматерия	299
<b>Глава 18. Радиоастрономия</b>	<b>307</b>
Солнце	307
Планеты	309
Звезды	315
Галактика	319
<b>Глава 19. Окраины Вселенной</b>	<b>324</b>
Сталкивающиеся галактики	324
Взрывающиеся галактики	329
Далёкие радионисточники	335
Квасары	339

А АЗИМОВ

ВСЕЛЕННАЯ

Редактор Р. Г. Золина  
Художник В. А. Медников  
Художественный редактор Р. В. Свирин  
Технический редактор Н. Д. Толстякова  
Корректор Л. В. Големнинова



Сдано в производство 31/I—69 г. Подписано к печати 30/IV—69 г.  
Бумага № 1 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>=5,75 бум. л. Печ. л. усл. 19,32, в т.ч. 1 л.  
иллюстр. на мел. бум. Уч.-изд. л. 18,69. Изд. № 27/5053  
Цена 1 р. 08 к. Зак. 105.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»

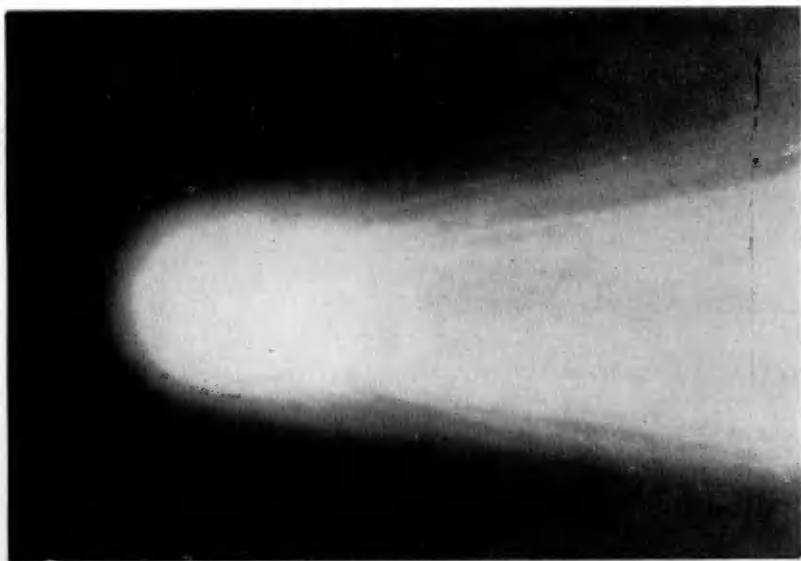
Москва, 1-й Рижский пер., 2

11-я типография Главполиграфпрома Комитета по печати при  
Совете Министров СССР Москва, Нагатинская ул., д. 1

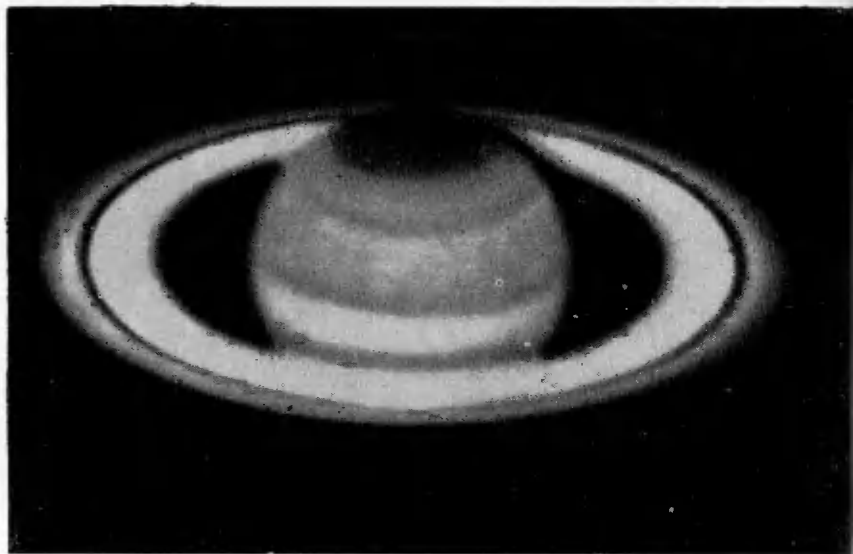




Луна.



Голова кометы Галлея (8 мая 1910 г.).



Сатурн с системой колец

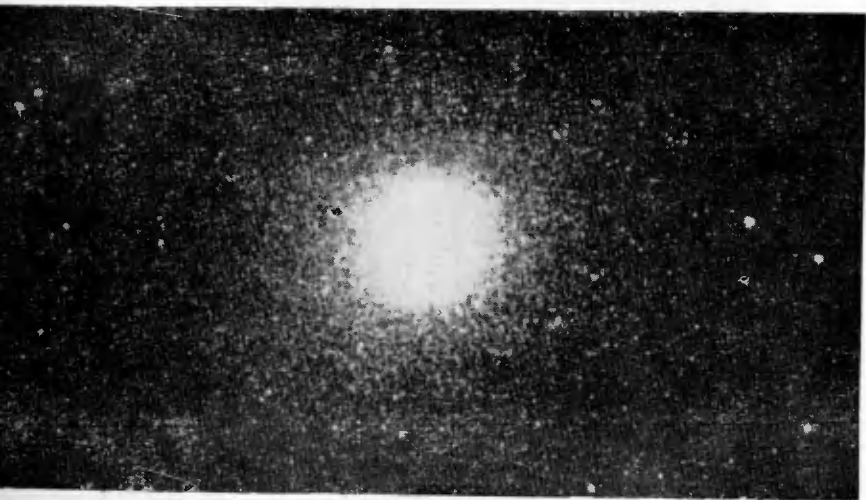


Млечный путь  
в созвездии Стрельца.

Плеяды.



Большое  
Скопление  
в Геркулесе.





Большое Магелланово Облако.



Темная туманность.



Светлая туманность.



Туманность Конская Голова.

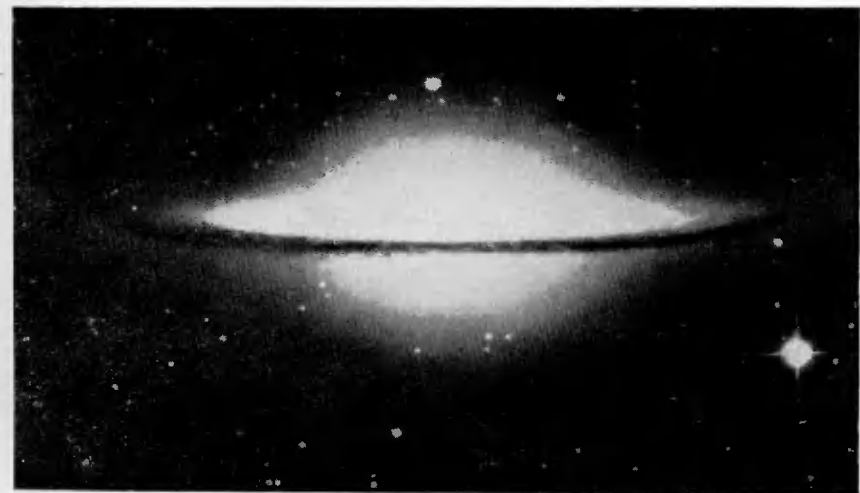


Туманность Андромеды.

Часть  
туманности Андромеды,  
разрешенная на звезды.



Галактика Сомbrero.





Галактика Водоворот.





Шарообразная  
галактика.



Туманность  
вокруг  
Новой Персея



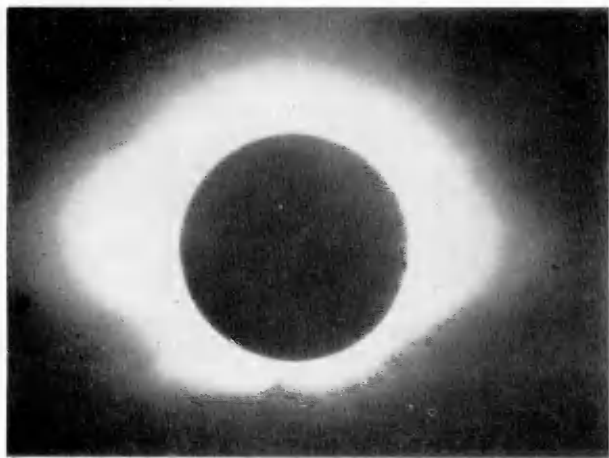
Кротовидная  
туманность,  
сфотографированная  
в различных  
лучах:  
красных,  
инфракрасных  
и синих.



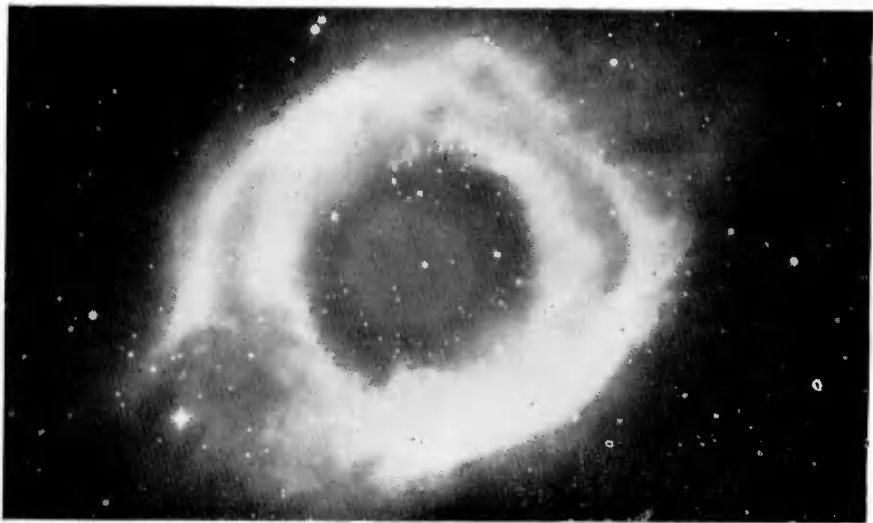
☐ Поляризация  
 ☐ света  
 ☐ Крабовидной  
 ☐ туманности.



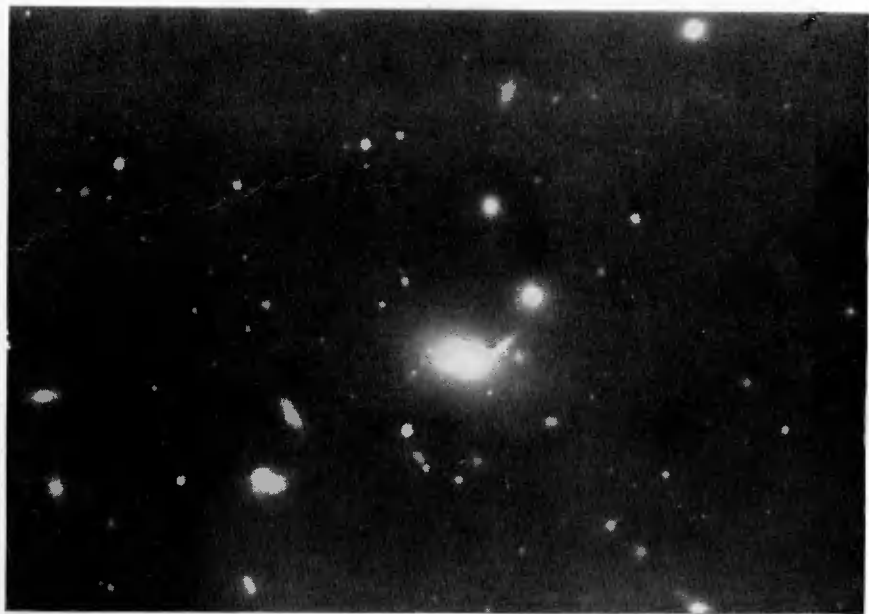
Солнечная  
вспышка.



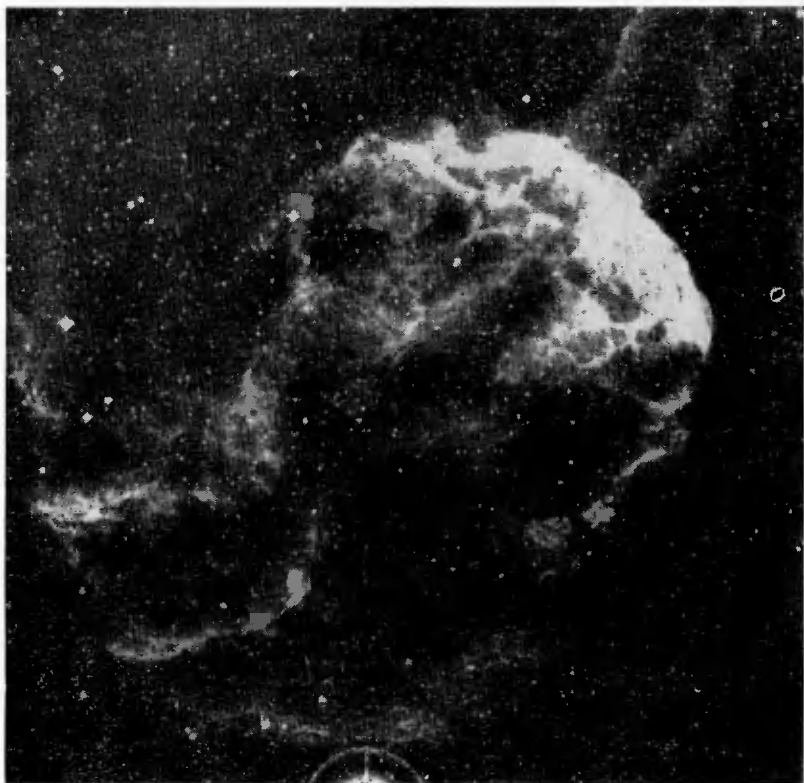
Солнечная  
корона.



Планетарная туманность.



Скопление галактик.



Газовая туманность IC 443.



Галактика NGC 5128.



Лебедь А.



Галактика М 87.