

О чем умолчали
учебники

Л. Шильник

УДИВИТЕЛЬНАЯ



КОСМОЛОГИЯ

Лев Шильник
Удивительная космология
Серия «О чем умолчали учебники»

Текст предоставлен правообладателем
http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=4935656
Удивительная космология / Лев Шильник. : ЭНАС-КНИГА; Москва; 2012
ISBN 978-5-91921-131-0

Аннотация

Космология – раздел астрономии, изучающий свойства и эволюцию Вселенной в целом. Книга посвящена представлениям человечества об устройстве мира, претерпевшим с античности до наших дней колоссальные изменения благодаря фундаментальным открытиям в физике и астрономии. В популярной форме изложены основные теории современной космологии, представлены новейшие модели мироздания.

Ранее книга выходила в свет под названием «Космос и хаос». В настоящее издание внесены небольшие изменения и включен иллюстративный материал.

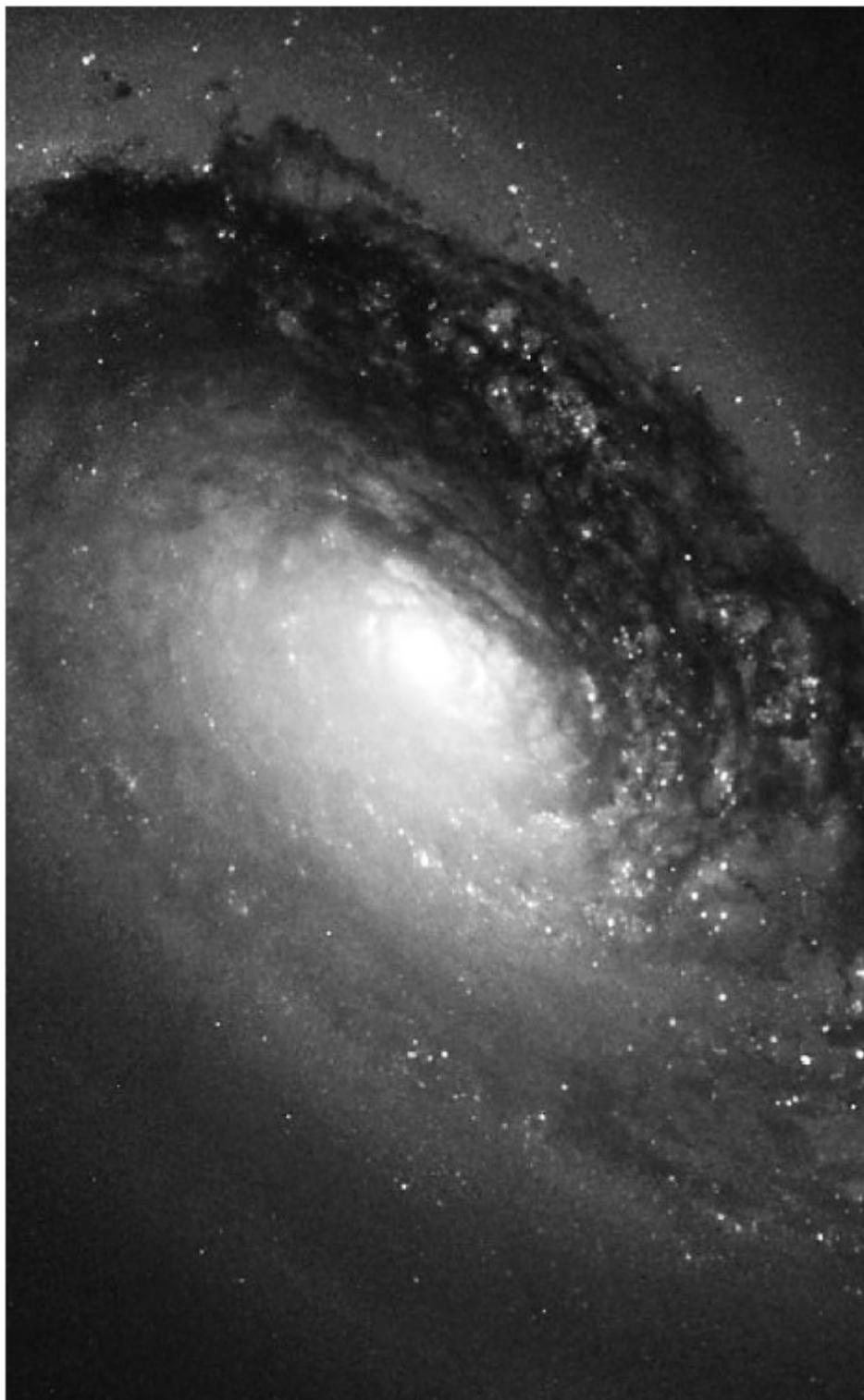
Содержание

Предисловие от издательства	4
Расстояния, версты, мили	6
Звездный паноптикум	26
Кое-что о здравом смысле	47
Конец ознакомительного фрагмента.	48

Лев Шильник

Удивительная космология

Предисловие от издательства



«Человек, впервые соприкоснувшийся с картиной мира, которую рисует современная физика, или с космологическими моделями эволюции нашей Вселенной, порой испыты-

вает настоящий интеллектуальный шок», – так начинается одна из глав этой интереснейшей книги. Действительно, как представить себе рождение Вселенной четырнадцать миллиардов лет назад «из ничего» или «из чего угодно»? Способно ли воображение человека воспринять четырехмерное пространство? Мнимое время? Скрытую массу? Как вещество, которое мы привыкли характеризовать массой и весом, может состоять из пустоты? И каким образом знакомые нам из школьных учебников элементарные частицы становятся струнами?

Наука «космология», которой посвящена эта книга, изучает свойства и эволюцию Вселенной. Представления человечества об устройстве мира претерпели колоссальные изменения благодаря фундаментальным открытиям прошлого века в области физики и астрономии.

Автор книги, известный популяризатор науки Лев Шильник, разворачивает перед читателем широкомасштабную картину развития космологии от античности до наших дней, то есть до самых современных, новейших и порой весьма экстравагантных теорий возникновения, устройства и эволюции Вселенной. Теория Большого взрыва, инфляционная модель рождения мира, многомерное пространство, теория струн, черные дыры как коридоры в иные миры... От такого виртуального путешествия по нашей Вселенной и ее окрестностям захватывает дух. Не меньше поражает и гений тех выдающихся ученых – физиков, астрономов, математиков, – которые открыли для нас современную картину мира. Картину убедительную, теоретически обоснованную, экспериментально подтвержденную и вместе с тем завораживающую и почти недоступную человеческому разуму и воображению, сформированному в земной биологической нише.

Ранее эта книга уже выходила в свет под названием «Космос и хаос». Настоящее издание, с небольшими изменениями и дополненное иллюстрациями, адресовано в первую очередь любознательным старшеклассникам и студентам, а также тем, кто не утратил с возрастом интереса к познанию. Читателям с недостаточной подготовкой в области физики некоторые разделы книги, возможно, покажутся усложненными, но мы уверены, что и они смогут получить общие представления об основных идеях современной космологии и сформировать в своем воображении грандиозную картину мироздания.

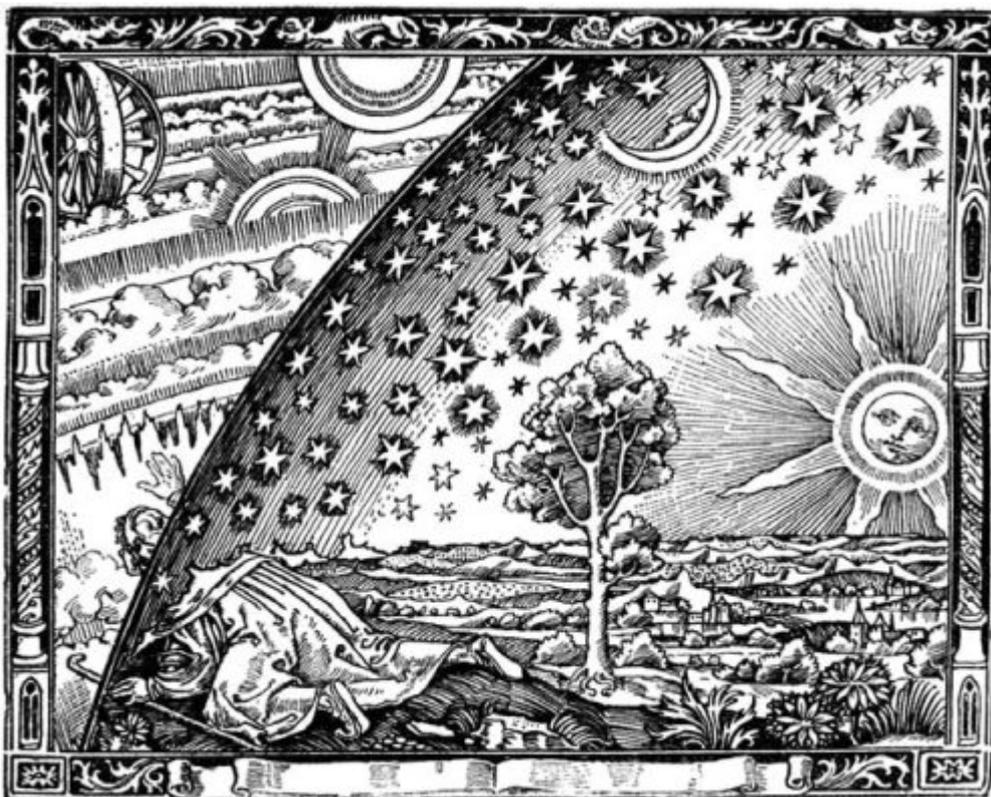
Расстояния, версты, мили



В старину люди жили на плоской Земле. Ничего удивительного в этом нет, ибо человеческому глазу земная поверхность и впрямь видится убегающей за горизонт бескрайней плоскостью, если, конечно, пренебречь локальными перепадами рельефа по высоте. Путешествуя по долинам и по взгорьям, купцы и солдаты Древнего мира могли на собственном опыте удостовериться, что поверхность Земли представляет собой огромный плоский блин.

Однако считать наших далеких предков наивными простаками было бы опрометчиво и недальновидно. Просто наука в ту пору пока что барахталась в пеленках. Рыхлую грудку фактов, где точные наблюдения и поразительные догадки перемежались с чудовищными заблуждениями, еще предстояло систематизировать. Отделение зерен от плевел – совсем не такая легкая задача, как может показаться на первый взгляд.

Но если зрение нас не обманывает и Земля действительно плоская, следовало бы выяснить, как далеко она простирается. А поскольку никому из смертных не удалось добраться до ее края и заглянуть вниз, вполне логичным казалось предположение, что этого края нету вовсе – земная поверхность нигде не кончается. Но бесконечность – весьма неуютное понятие, плохо поддающееся рациональному осмыслению, и люди всегда стремились от нее избавиться. Если же край у Земли все-таки есть, что, скажите на милость, может помешать мировым водам, со всех сторон омывающим сушу, без остатка излиться в бездонную пропасть? Положение спасал небесный свод, опрокинутый над Землей исполинской чашей и составляющий с ней единое целое. Таким образом, вечно убегающий горизонт будет тем местом, где хрустальный купол небес соединяется с земной твердью. Между прочим, библейское выражение «твердь земная и твердь небесная» является отголоском тех ветхозаветных географических представлений.



Земля представлялась нашим предкам плоской

Итак, мы худо-бедно разобрались с устройством Вселенной. Получилось корыто с плоским дном, прихлопнутое крышкой небесного свода. Осталось определиться с формой и размерами этой конструкции. Однако у разных народов порой бытовали диаметрально противоположные мнения на этот счет.

Скажем, древние египтяне, жившие в долине Нила, и шумеры, населявшие междуречье Тигра и Евфрата, полагали, что Земля гораздо протяженнее с востока на запад, чем с севера на юг. В силу ряда исторических причин они были довольно неплохо знакомы с обитателями сопредельных стран, лежавших у восточных и западных границ их царств, а вот южные и северные земли долго были для них почти полной *terra incognita*. Поэтому шумерам и египтянам Земля рисовалась в виде прямоугольного ящика, вытянутого в широтном направлении. У греков же чувство геометрических пропорций было, по-видимому, развито лучше: по их мнению, Земля представляла собой круглую плиту, разумеется, с Грецией в центре. Сушу со всех сторон омывали воды могучей реки под названием Океан, а Средиземное море являлось ее чудосочным ответвлением, своего рода аппендиксом, протянувшимся к центру мира.

Древнегреческий историк и географ Гекатей Милетский, живший за пять веков до начала христианской эры, автор фундаментального труда «Землеописание», который дошел до наших дней в отрывках, попытался даже вычислить размеры этой плиты. Он пришел к выводу, что ее диаметр не должен превышать 8 тысяч километров; таким образом, площадь плоской Земли будет равняться 50 миллионам квадратных километров. И хотя истинная площадь нашей планеты в 10 раз больше, смеем полагать, что цифры, полученные отважным уроженцем Милета, представлялись современникам чудовищными. Конечно, круг – более совершенная фигура по сравнению с неуклюжим прямоугольником, однако сакраментальный вопрос, что удерживает земной диск на месте, по-прежнему оставался без ответа. Древ-

ние греки были не лыком шиты и прекрасно знали, что все тяжелые тела имеют тенденцию падать вниз.

– Если плоский земной диск действительно столь велик, – говорили скептики, радостно потирая сухие ладошки, – то пусть уважаемый Гекатей объяснит нам, неразумным, какие силы заставляют его висеть неподвижно. Если же он все-таки со свистом проваливается в пустоту, подобно всем остальным телам, то почему мы не замечаем этого стремительного падения?

Мы не знаем, как отвечал первый античный географ на неудобные вопросы оппонентов. Проще всего было сказать, что земная твердь простирается вниз неограниченно, но это сразу же приводило на память проклятую бесконечность, от которой только что удалось отделаться. Куда разумнее было предположить, что земной диск покоится на чем-нибудь прочном. Индусы помещали Землю на четыре столпа.

– Очень хорошо, – язвительно цедили через губу скептики, – а на чем стоят столпы?

– На гигантских слонах, это даже малые дети знают.

– А слоны?

– А слоны, да будет вам известно, попирают своими ногами панцирь исполинской черепахи.

– А черепаха?..

Дурная бесконечность раз за разом упорно вылезала из всех дыр, и представление о плоской Земле загоняло мыслителя в безнадежный тупик.

Давайте вспомним веселую сказку Лазаря Лагина о могущественном джинне Гассане Абдуррахмане ибн Хоттабе родом из древней Аравии, волею судеб очутившемся в современной Москве. Говорят, он был весьма влиятельной фигурой при дворе мудрого царя Соломона, который правил 3000 лет тому назад в Палестине, но чем-то не потрафил кесарю. Любвеобильный царь (по преданию, у Соломона было 700 жен и 300 наложниц) не стал церемониться с ослушником и без долгих разговоров повелел заточить его в глиняный сосуд, каковой надлежало утопить в морской пучине. А 3000 лет спустя московский школьник Волька Костыльков случайно наткнулся на замшелую керамическую посудину во время утреннего купания. Сколько живут джинны, в точности никто не знает, но Хоттабыч оказался на редкость бодрым и покладистым стариком, а потому сразу же предложил своему спасителю массу услуг. Вольке предстоял экзамен по географии, в которой он довольно мелко плавал, так что после нескольких сугубо формальных телодвижений правильный пионер и действительный член астрономического кружка при Московском планетарии подмахнул взаимовыгодную сделку.

Подсказки джинна – не фунт изюму. Вольке досталась Индия, но об Аравийском море и Бенгальском заливе, которые моют берега этого огромного полуострова, бедный мальчик ничего сказать не успел. Вопреки собственному желанию он понес несусветную чушь о стране, лежащей на самом краю земного диска, и о сопредельных землях, населенных плешивыми людьми, которые питаются исключительно сырой рыбой и древесными шишками.

Когда же его спросили, о каком диске он толкует и разве неизвестно ему, что Земля имеет форму шара, Волька, повинувшись Хоттабычу, высокомерно усмехнулся и продолжал в той же велеречивой манере:

– Ты изволишь шутить над твоим преданнейшим учеником! Если бы Земля была шаром, воды стекли бы с нее вниз и люди умерли бы от жажды, а растения засохли. Земля, о достойнейший и благороднейший из преподавателей и наставников, имела и имеет форму плоского диска и омывается со всех сторон величественной рекой, называемой «Океан».

Земля покоится на шести слонах, а те стоят на огромной черепахе. Вот как устроен мир, о учитель!

Шутки шутками, но обывательские представления о природе вещей на редкость живучи. Рассказывают, что однажды Бертран Рассел, выдающийся английский философ и математик, читал публичную лекцию по астрономии. И хотя дело происходило сравнительно недавно, в начале прошлого века, лектор был обстоятелен и нетороплив. Рассказав о том, как Земля вращается вокруг Солнца, он не преминул заметить, что наше великолепное дневное светило является заурядной звездой и, в свою очередь, тоже движется вокруг центра Галактики. Когда лекция подошла к концу, из задних рядов поднялась маленькая пожилая леди и заявила, что все, о чем здесь толковал уважаемый лектор, – сплошная чушь.

– На самом деле, – сказала она, – наш мир – это большая плоская тарелка, которая стоит на спине гигантской черепахи.

– Ну хорошо, – улыбнулся Рассел, – а на чем же держится черепаха?

– Вы очень проникательны, молодой человек, – отвечала маленькая пожилая леди. – Черепаха стоит на спине другой черепахи, та – еще на одной, и так далее, и так далее, и так далее.

Наверное, космогония Гекатея еще долго была бы в ходу, если бы не отдельные досадные мелочи. Наблюдательные греки подметили, что картина звездного неба ощутимо меняется во время путешествия с юга на север. Часть звезд уплывает за южный горизонт, а на севере загораются новые созвездия, которые невозможно разглядеть в южных широтах. Например, Полярная звезда шаг за шагом взбирается все выше и выше, из чего с необходимостью следовало заключить, что рано или поздно она повиснет прямо над головой путешественника. Разумеется, грекам было невдомек, что подобное событие может состояться только лишь на Северном полюсе, но тенденция говорила сама за себя. (Справедливости ради отметим, что за пять веков до Рождества Христова Полярная, то есть альфа Малой Медведицы, не была ближайшей к полюсу звездой, но эти частности мы здесь опустим.) С другой стороны, при поездке на юг Полярная звезда начинает скользить вниз, увлекая за собой северные созвездия, а из-за южного горизонта выныривают незнакомые звезды. На линии экватора (понятие столь же умозрительное для древних греков, как и Северный полюс) Полярная звезда должна лечь на северный горизонт. Если бы Земля была плоским диском, рисунок созвездий менялся бы крайне незначительно, чуть-чуть смещаясь по перспективе. Звездное небо всюду выглядело бы одинаково, а вышеописанных сложных эволюций не было бы и в помине.



Анаксимандр

Поэтому древнегреческий философ Анаксимандр, живший почти за 100 лет до Гекатея и тоже уроженец Милета, предположил, что земная поверхность искривляется по направлению с юга на север. Вместо круглой плиты у него получился цилиндр, лежащий горизонтально, на поверхности которого живут люди. Надо сказать, что малоазийский город Милет

был самой настоящей культурной Меккой античного мира, ибо старший современник Анаксимандра, его земляк и учитель Фалес, первый представитель школы ионийских натурфилософов, тоже понимал толк в движении небесных светил. По преданию, он предсказал солнечное затмение 585 года до н. э. Откровенно говоря, не совсем понятно, как ему удалось это сделать, потому что у Фалеса наша Земля имела форму плоского диска, плавающего на поверхности бескрайнего океана. Теорию солнечных и лунных затмений греки разработали значительно позже, так что оставим достижения Фалеса Милетского на совести хронистов.

Цилиндрическая Земля Анаксимандра была бесспорным шагом вперед по сравнению с плоской Вселенной Гекатея или Фалеса, но и она, увы, не спасала положения. Как известно, античные греки были морским народом, очень рано освоившим и заселившим средиземноморское побережье на всем его протяжении – от Гибралтарских столпов на западе до берегов Малой Азии на востоке. Верткие остроносые корабли отважных мореходов не только проникли через цепочку проливов в Черное море (греки называли его Эвксинским Понтом), но и вышли в Атлантику, а в поисках легендарной страны Туле добрались до Британских островов (экспедиция Пифея). Недаром баснописец Эзоп однажды сравнил своих соплеменников с лягушками, облепившими со всех сторон родное болото. Древним грекам, вся жизнь которых была тесно связана с морем, едва ли не каждый божий день доводилось провожать утлые скорлупки в далекое плавание. Внимательно наблюдая за кораблями, покидавшими гавань, они не единожды имели возможность удостовериться, что судно не просто тает «в тумане моря голубом», а словно бы пропадает за склоном холма по частям: сначала из глаз скрывается корпус, потом – парус, затем – верхушки мачт. Тем, кто способен думать, оставалось сделать элементарное умственное усилие, чтобы прийти к выводу о шарообразности Земли. Более того, корабли ускользали под гору совершенно одинаково, вне зависимости от направления, в котором они плыли. Путешествие на юг давало в точности такой же результат, что и плавание на восток или запад. Цилиндрическая модель Анаксимандра была не в силах объяснить равномерный изгиб поверхности Земли по всем направлениям, а потому оказалась несостоятельной. Греки справедливо рассудили, что только поверхность шара не противоречит всей сумме накопленных античной наукой фактов.

Полагают, что мысль о сферичности Земли была впервые высказана современником Сократа Филолаем из Тарента. Это произошло во второй половине V века до н. э. А великий Аристотель, живший примерно 100 лет спустя, уже твердо знал, что Земля – шар, и даже добавил в копилку античной астрономии свой собственный аргумент. Он догадался, что причиной лунных затмений является отбрасываемая Землей тень, когда наша планета оказывается между Луной и Солнцем. Причем поперечное сечение земной тени на диске Луны всегда бывает круглым, что может произойти только в том случае, если Земля имеет форму шара. Будь Земля плоским диском, картина была бы совершенно иной. Говорят, что Аристотель даже попытался вычислить длину экватора нашей планеты, взяв за основу разницу в положении Полярной звезды в Греции и Египте. У него получилась величина, примерно равная 400 000 стадиев. Если перевести античные меры длины в привычную нам метрическую систему, то в одном стадии окажется около 200 метров. Во всяком случае, большинство историков полагают, что это именно так (аттический стадий насчитывал 185 метров, а вавилонский – 195 метров), хотя полной ясности в этом вопросе нет. Так или иначе, но диаметр Земли, измеренный Аристотелем, оказался вдвое больше современного значения.

А вот Эратосфен Киренский, живший в III веке до н. э., получил куда более надежный результат. Из расчетов Эратосфена следовало, что окружность земного шара составляет (в переводе на метрические меры) 39 700 километров (современные вычисления дают почти 40 000 километров). Результат Эратосфена удалось слегка подправить только в конце XVIII столетия, что не может не насторожить вдумчивого исследователя, поскольку инструменты, которыми пользовался греческий астроном, были на редкость примитивны. Он изме-

рял высоту Солнца над горизонтом 21 июня, в день летнего солнцестояния, когда полуденное светило наиболее высоко поднимается в небе. Измерения проводились в один и тот же день в двух египетских городах – Сиене (современный Асуан) и Александрии, которая расположена на 800 километров севернее. В Сиене вертикально воткнутая в землю палка не давала тени, из чего следует, что Солнце в тот день стояло точно в зените над Сиеной. А вот в Александрии коротенькая тень обнаружилась, что соответствовало положению полуденного Солнца на 7 с лишним градусов южнее зенита.



Эратосфен Киренский

Будь Земля плоской, Солнце и в Сиене, и в Александрии стояло бы в зените одновременно, поскольку расстояние между этими городами сравнительно небольшое. А коль скоро удалось выявить разницу в длине тени, это означает, что поверхность планеты между городами искривлена, так как палки в Сиене и Александрии оказались под углом друг к другу. Несложный расчет показывает, что если разница в 7 градусов соответствует 800 километрам, то разница в 360 градусов (полный оборот по окружности) даст величину около 40 000 километров. Понятно, что если известна длина окружности, не составит труда рассчитать диаметр шара, его объем и площадь его поверхности. Поперечник Земли составляет примерно 12 800 километров, а площадь сферы с таким диаметром окажется равной примерно 500 миллионам квадратных километров.

Между прочим, человечеству крупно повезло, что размеры Земли не особенно велики. Будь наша планета значительно больше, вид звездного неба при перемещении на несколько сотен километров практически не менялся бы, а корабли успевали бы растаять в атмосферной дымке, прежде чем скрылся бы за горизонтом их корпус. Да и граница земной тени на диске Луны выглядела бы в этом случае идеально прямой линией. Угадать на глаз ее ничтожную кривизну было бы решительно невозможно. Надо полагать, что и развитие астрономии пошло бы тогда совсем по-другому, а представление о шарообразности планеты возникло значительно позже.

Если бы Вселенная исчерпывалась Землей, древние греки разрешили бы основной вопрос космологии еще более 2000 лет назад. Однако существовало еще и небо. Поскольку было неопровержимо доказано, что Земля имеет сферическую форму, следовало пересмотреть традиционные представления о небесном своде. Модель опрокинутой чаши сдали в архив, а ее место заняла полая сфера, охватывающая земной шар со всех сторон. Понятно, что диаметр такой сферы должен быть больше диаметра Земли. Весь вопрос заключается в том, насколько больше. Другими словами, далеко ли до неба? Расхожая байка о том, что это немного выше, чем орел летает, уже не работала. Что интересного можно увидеть на небе? Кроме деятельно путешествующих по небосводу Солнца и Луны, на небе имеются еще неподвижные звезды. Точнее, они смещаются все разом, как будто небесная сфера увлекает

их за собой, совершая каждые 24 часа полный оборот вокруг Земли. Но друг относительно друга звезды неподвижны, а рисунок созвездий всегда один и тот же. И через год, и через 10, и через 100 лет их можно отыскать в точности на том же самом месте. Складывается впечатление, что звезды пришили к небесной сфере, которая неустанно вертится вокруг Земли.

Однако наблюдать древние любили и замечать умели. Они давно обнаружили, что в большом звездном семействе имеются свои непоседы, которые не сидят на месте, а мечутся как угорелые, вычерчивая сложные петлеобразные зигзаги на протяжении года. Солнце и Луна, конечно, – они слишком велики, чтобы считать их звездами. Ну и еще таких торопыг ровно пять – Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн. Греки стали называть этих вечных скитальцев планетами, что в переводе означает «блуждающие». Оказалось, что при известной сноровке можно даже определить относительные расстояния между ними. Ближе всего к Земле, бесспорно, находилась Луна, поскольку во время солнечных затмений проплывала между Землей и Солнцем. Расстояния до других планет можно рассчитать, исходя из относительных скоростей их движения на фоне неподвижных звезд. По опыту известно, что чем ближе предмет, тем быстрее он движется. Птица высоко в небе парит величаво и неторопливо, а оказавшись низко над землей, пронесится подобно стремительной серой молнии. Итак, расклад древних греков выглядел следующим образом (по мере увеличения расстояния от Земли): Луна, Меркурий, Венера, Солнце, Марс, Юпитер и Сатурн.

Так возникла геоцентрическая модель, которую обычно связывают с именем Клавдия Птолемея, древнегреческого астронома, жившего в I–II веках н. э., создателя фундаментального трактата «Альмагест». В центре мироздания неподвижно покоилась Земля, а вокруг нее обращались по правильным окружностям восемь вложенных одна в другую сфер, несущих на себе Луну, Солнце и пять известных к тому времени планет. На восьмой сфере располагались неподвижные звезды.



Птолемей

Чтобы объяснить весьма сложный путь, который планеты совершают на фоне звезд, Птолемей предположил, что они вдобавок движутся по меньшим кругам, сцепленным с соответствующей сферой. Эти дополнительные орбиты получили название эпициклов.

врытой в землю палки. Похоже на правду, ибо, скажем, у средневековых монголов единицей длины считался дневной конский переход. Конечно, постоянство у такой единицы измерения более чем сомнительное, хотя батыров Чингисхана она, видимо, вполне устраивала. Но ведь монголам даже в голову не приходило мерить окружность Земли! Воля ваша, однако с античной астрономией что-то не все так просто, если, например, древнеримский архитектор Витрувий (I в. до н. э.) знал периоды гелиоцентрических (то есть вокруг Солнца) обращений планет лучше Коперника.

Косвенным аргументом в пользу справедливости наших рассуждений может послужить совершенно пещерный уровень космологических представлений в раннесредневековой Византии. Просвещенный византиец Косьма Индикоплевт (Козьма Индикополов), признанный специалист по средневековой космографии, полагал, что Вселенная представляет собой прямоугольный ящик, омываемый водами великой реки Океан. Небесный свод поддерживается четырьмя отвесными стенами. Звезды, по мнению Косьмы, есть не что иное, как маленькие гвоздики, которыми нашпигована крышка этого ящика, а по углам сей невразумительной конструкции помещаются четыре ангела, производящие ветер. Между прочим, упомянутый Косьма жил в VI веке уже новой эры, то есть через 900 лет после Аристарха и через 700 – после Эратосфена. А ведь Византия – это Восточная Римская империя, некогда входившая в состав просвещенного *Paх Romana*, который, в свою очередь, наследовал грекам. В отличие от Западной Римской империи, Византия не подвергалась опустошительным набегам варварских племен, да и времени с момента падения Рима (476 год) прошло чуть да маленько – около 100 лет. Ну ладно, рассмотрение нетрадиционных исторических версий не входит в наши задачи. Это просто замечания, что называется, по поводу...



Николай Коперник

Итак, за 100 с лишним лет до начала христианской эры астрономам удалось измерить расстояние до Луны, причем очень точно. А что можно сказать о других небесных телах? Насколько далеко они расположены от Земли? Уже упоминавшийся Аристарх Самосский (IV–III вв. до н. э.) попытался вычислить расстояние от Земли до Солнца, но потерпел фиаско. Математические рассуждения греческого астронома были вполне безупречны, а вот инструменты, имевшиеся в его распоряжении, никуда не годились, поэтому полученная им величина оказалась меньше истинного расстояния почти в 15 раз. (Впрочем, многие историки сомневаются в реальном существовании Аристарха и не без оснований полагают, что ему приписаны достижения европейских астрономов XVI века.) Результат Архимеда был значительно лучше ($2/5$ от действительной величины), однако сие весьмастораживает, поскольку даже Иоганн Кеплер в XVII веке с этой задачей не справился – вычисленное им расстояние оказалось еще меньше. Как бы там ни было, небо отодвинулось в несусветную даль, а Вселенная оказалась гораздо больше, чем могли помыслить самые дерзкие умы античности.



Гелиоцентрическая система Коперника

После Гиппарха и Птолемея в астрономических науках наступил застой. Стагнация продолжалась свыше полутора тысяч лет, вплоть до начала XVI века, когда польский священник Николай Коперник предложил новую модель мироздания с неподвижным Солнцем в центре, получившую название гелиоцентрической. Согласно этой модели, планеты вращались вокруг Солнца по правильным окружностям, а их число уменьшилось до шести (Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн). Луна же, строго говоря, потеряла статус полноценной планеты и превратилась в естественный спутник Земли. Хотя модель Коперника была значительно проще птолемеевой и давала несколько лучшие результаты, ее на протяжении почти 100 лет серьезно не воспринимали. Перелом произошел в XVII веке, когда сначала итальянский астроном Галилео Галилей сумел разглядеть в телескоп (который он же сам и изобрел в 1608 году) спутники Юпитера, а вслед за ним великий Иоганн Кеплер внес поправки в схему Коперника. Проанализировав блестящие наблюдения Марса, выполненные его учителем, датским астрономом Тихо Браге, Кеплер пришел к выводу, что единственная геометрическая фигура, которая идеально отвечает этим наблюдениям, – эллипс. Итак, в модифицированной модели Коперника планеты стали обращаться вокруг Солнца по эллиптическим орбитам, а Солнце переместилось в один из фокусов этого эллипса.



Иоганн Кеплер

Более того, Кеплер обнаружил, что между средними расстояниями планет от Солнца и периодами их обращения существует простое математическое соотношение. Таким образом, стало возможным вычислить относительное расстояние между Солнцем и любой из планет. К сожалению, это мало что давало, потому что у схемы, предложенной Кеплером (вполне надежной и замечательно согласующейся с наблюдениями), напрочь отсутствовал масштаб. Можно было сказать, что, скажем, Сатурн расположен от Солнца в 10 раз дальше Земли, но чему равно это расстояние в километрах – тайна, покрытая мраком. А вот если бы удалось каким-то способом вычислить расстояние между Землей и любой из планет, у астрономов сразу бы появился в руках необходимый масштаб. Дело было за малым – придумать такой способ.

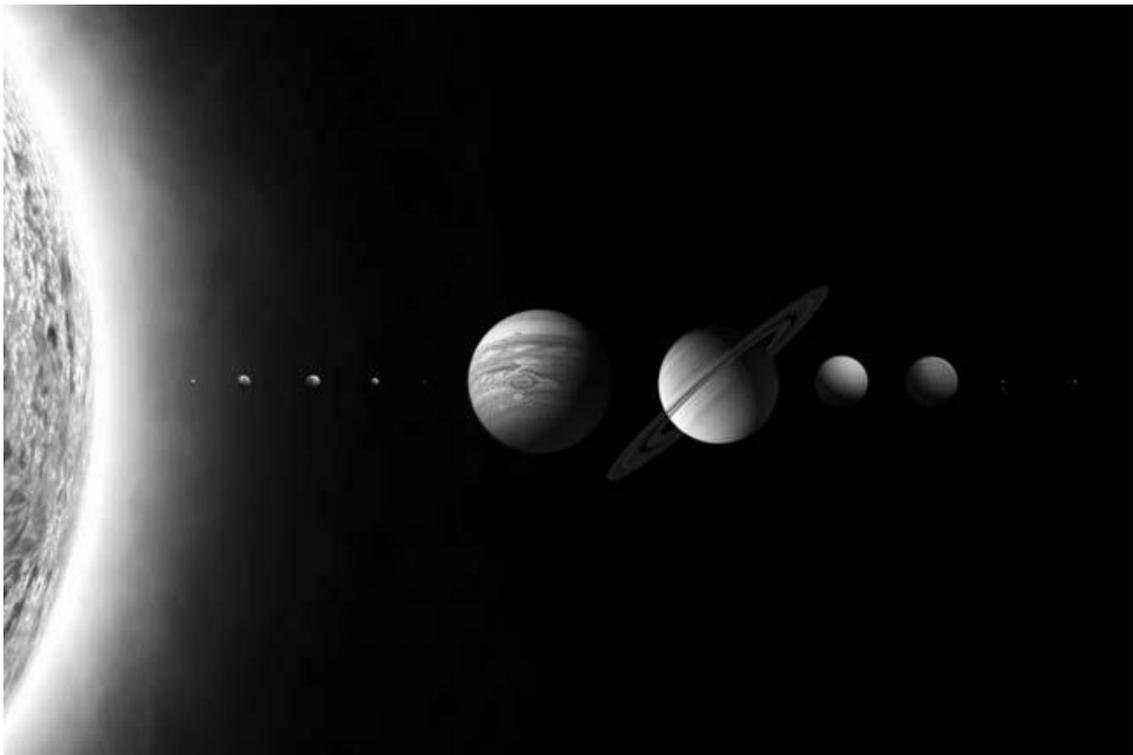
Для определения расстояний между небесными телами используют явление параллакса. Параллакс – очень простая штука. Если рассматривать свой собственный палец на фоне пестрых обоев правым и левым глазом поочередно, легко убедиться, что в тот момент, когда вы закрываете один глаз и открываете другой, палец смещается на некоторое расстояние относительно фона. Чем ближе расположен к глазам палец, тем больше будет это смещение. Суть явления лежит на поверхности: поскольку глаза разнесены на некоторое расстояние друг от друга, вы смотрите на предмет каждым глазом под определенным углом.

Тот же самый подход без труда применим и к небесным телам. Разумеется, поочередно моргать глазами, глядя, скажем, на Луну, совершенно бессмысленно, поскольку она расположена слишком далеко. А вот если два астронома, разделенные расстоянием в несколько сотен километров, будут одновременно наблюдать наш естественный спутник на фоне звездного неба, лунный параллакс легко обнаружится. Нужно только договориться, относительно какой звезды будут вестись наблюдения, и тогда первый астроном увидит край лунного диска на одном угловом расстоянии от заранее выбранной звезды, а второй, соответственно, – на ином. Дальше – уже дело техники: если известны смещение Луны относительно звездного фона и расстояние между обсерваториями, то с помощью несложных тригонометрических функций можно рассчитать расстояние до Луны.

В ходе таких наблюдений было установлено, что величина лунного параллакса составляет 57 минут дуги, или около 1 градуса дуги (полная окружность насчитывает 360 граду-

сов; в одном градусе содержится 60 минут, а в минуте – 60 секунд). Смещение в 57 минут дуги измерить очень легко, так как оно равняется примерно двум видимым диаметрам полной Луны. Расстояние, вычисленное с помощью параллакса, показало хорошее совпадение с цифрами, полученными старым проверенным методом – по земной тени во время лунного затмения.

А вот с планетами вышла неувязка. Беда в том, что они расположены слишком далеко, поэтому параллактическое смещение столь незначительно, что его не удавалось измерить вплоть до начала XVII столетия. Задача была успешно решена после изобретения телескопа в 1608 году. Во второй половине XVII века два французских астронома, Жан Рише и Джованни Кассини (итальянец по происхождению), вычислили параллактическим методом расстояние от Земли до Марса. Наблюдения проводились одновременно в Париже и Французской Гвиане. Модель Кеплера получила наконец вожделенный масштаб, после чего можно было без труда рассчитать все остальные расстояния внутри Солнечной системы. В частности, Кассини определил, что расстояние от Земли до Солнца составляет 140 миллионов километров. Для XVII века это очень неплохая точность, так как он ошибся всего на 10 миллионов километров. Техника не стояла на месте, и в первой половине XVIII века результат Кассини был подправлен до 152 миллионов километров (современное значение – 149,6 миллиона километров). Эту величину впоследствии назвали астрономической единицей (а. е.) и стали широко применять в качестве своего рода межпланетной версты.



Планеты Солнечной системы

Солнечная система приобрела впечатляющие размеры: например, расстояние от Солнца до Сатурна составляет почти полтора миллиарда километров, чуть ли не вдесятеро больше, чем до Земли. А когда английский астроном Вильям Гершель открыл в 1781 году Уран (невооруженным глазом эта планета не видна, поэтому древние ничего не знали о ее существовании), Солнечная система сразу же подросла почти вдвое (между Ураном и Солнцем лежит около 3 миллиардов километров). В 1846 году французский астроном Урбан Жозеф Леверье обнаружил Нептун, а американец Клайд Томбо в 1930-м – Плутон, девятую и последнюю планету. Таким образом, Солнечная система снова увеличилась в два раза, ибо

Плутон отделяют от Солнца почти 6 миллиардов километров, или около 40 астрономических единиц. А ее диаметр будет соответственно равняться 12 миллиардам километров (80 а. е.). Лучу света, который пролетает 300 тысяч километров в секунду и добегает за секунду с четвертью до Луны и за 8 минут до Солнца, потребуется около 12 часов, чтобы пересечь ее из конца в конец.

Попробуем более наглядно представить себе относительные масштабы Солнечной системы. Если изобразить Солнце в виде бильярдного шара (примерно 7 сантиметров в диаметре), тогда до Меркурия – ближайшей к Солнцу планеты – будет в таком масштабе почти три метра (280 сантиметров), а до Земли – чуть больше семи с половиной метров. Планета-гигант Юпитер отодвинется на расстояние около 40 метров, а до Плутона придется совершить приличную прогулку, поскольку он будет лежать в 300 метрах от Солнца. Размеры Земли в этом масштабе составят всего 0,5 миллиметра, так что разглядеть такую пылинку сможет только человек с неплохим зрением. Поэтому лучше ее сделать немного побольше: пусть величина Земли будет соответствовать размеру стандартных наручных часов. Тогда в этом масштабе поперечник Солнца будет равняться удвоенному среднему человеческому росту, а расстояние между Землей и Солнцем составит 400 метров. Плутон же будет и вовсе не разглядеть, поскольку он удалится на расстояние в 15 километров.

Однако орбита Плутона – отнюдь не самая далекая точка Солнечной системы. Когда в 1684 году великий английский ученый Исаак Ньютон открыл свой знаменитый закон всемирного тяготения, согласно которому тела притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними, модель Кеплера приобрела математическое обоснование. Ученые получили в руки надежный инструмент, позволяющий вычислять любые орбиты, даже если тело наблюдается на небольшом отрезке своей траектории. Астрономов давно занимали кометы – хвостатые гости, время от времени появляющиеся на небосводе. Друг и современник Ньютона Эдмунд Галлей усмотрел в поведении некоторых комет отчетливую периодичность и предположил, что они движутся вокруг Солнца по очень сильно вытянутым орбитам (эллипсам с большим эксцентриситетом, как говорят астрономы). Галлей рассчитал орбиту одной из таких комет и предсказал, что она вновь вернется в 1758 году. Через 16 лет после его смерти предсказание Галлея сбылось: комета действительно появилась на небе в указанный им год и с тех пор носит его имя, регулярно возвращаясь каждые 75 или 76 лет.

В точке своего перигелия (ближайшей к Солнцу) комета Галлея оказывается внутри орбиты Венеры, а в афелии (точке максимального удаления от Солнца) уходит далеко за орбиту Нептуна – на 5 с лишним миллиардов километров. Однако существуют так называемые долгопериодические кометы, которые обращаются по таким вытянутым орбитам, что возвращаются к Солнцу раз в несколько столетий, а то и тысячелетий. В середине прошлого века голландский астроном Ян Хендрик Оорт высказал предположение, что далеко за орбитой Плутона лежит огромное облако комет, откуда они время от времени проникают в окрестности Солнца. В таком случае диаметр Солнечной системы может достигать 1000 миллиардов километров и даже больше, или десятков тысяч астрономических единиц. В наши дни гипотеза Оорта практически превратилась в теорию. Подробный рассказ о планетах Солнечной системы и небесных телах, лежащих за орбитой Плутона, вы, читатель, сможете найти в главах «Кольцо вокруг Солнца» и «Девять или десять?».

Итак, к началу XVIII века вопрос о размерах солнечной семейки был практически решен (разумеется, без трех последних планет, которые были обнаружены позже). Осталось разделаться с неподвижными звездами, раз и навсегда выяснив, что они собой представляют. Что они такое: всего лишь точки на сферической тверди, лежащей у самых границ Солнечной системы, как полагали древние, или огромные небесные тела, удаленные на чудовищное расстояние? Параллактический метод, замечательно себя зарекомендовавший при вычис-

лении расстояний между планетами, здесь явно не работал, поскольку ни у одной звезды не удалось зарегистрировать сколько-нибудь заметного смещения. Даже если наблюдателей разделяло расстояние, равное диаметру Земли, промежуток между соседними звездами не менялся ни на йоту.

Впрочем, оставалась еще одна возможность. Поперечник нашей планеты не достигает и 13 тысяч километров, но ведь Земля, как известно, не покоится на месте, а стремительно летит сквозь пустоту вокруг Солнца. Противоположные точки земной орбиты разнесены в пространстве почти на 300 миллионов километров. Решение напрашивалось само собой: если в какой-то вечер нанести положение звезд на карту, а потом сделать то же самое ровно через полгода, то астроном будет наблюдать звездное небо из двух точек, разделенных огромным расстоянием, превосходящим в 23 тысячи раз полную длину земного диаметра. Соответствующим образом должен увеличиться и параллакс. За год звезда опишет крохотный эллипс – своего рода изображение земной орбиты в миниатюре, а угловое расстояние от края этого эллипса до его центра как раз и будет параллаксом звезды.

Для планет подобный метод не годится, потому что они прихотливо петляют по небу на протяжении года, маскируя тем самым параллактическое смещение, вызываемое движением Земли. Отделить собственное движение планеты от ее параллакса – задача непосильной сложности. А вот звезды в течение года практически неподвижны, поэтому обнаружить у них параллактическое смещение вполне реально. Логика вроде бы вполне безупречная, однако звездных параллаксов выявить не удалось. На дворе уже давно стоял XIX век, но астрономы, как ни бились, так и не смогли определить хотя бы чуточное смещения ни у одной звезды.

Ситуация складывалась весьма неприятная. Конечно, всегда можно предположить, что все звезды без исключения находятся на одном и том же расстоянии от Земли. Тогда, разумеется, звездных параллаксов не будет, поскольку параллактическое смещение возникает только в том случае, если мы сравниваем положение близкого предмета с положением относительно далекого. Однако гипотеза твердого небосвода, или тонкой сферической оболочки, на поверхности которой располагаются звезды, выглядела весьма сомнительно. Звезды довольно сильно различаются по яркости, и чтобы в этом убедиться, достаточно просто глянуть на ночное небо. Классифицировать их по этому параметру научились еще древние греки, разделив все звездное население на 6 величин (звезда 1-й величины в 100 раз ярче звезды 6-й величины). Понятно, что с изобретением телескопа звездного полку прибыло, так как появилась возможность наблюдать звезды, не различимые невооруженным глазом. Число звездных величин сразу же изрядно подросло. Разумно было предположить, что истинная светимость всех звезд лежит в довольно узких пределах, а разница в их видимой яркости объясняется исключительно расстоянием. С другой стороны, нельзя было сбросить со счетов и противоположное соображение: все звезды лежат примерно на одном и том же расстоянии от Земли, а вот светят совершенно по-разному, как лампочки большей и меньшей мощности.

Концепция равноудаленности звезд с треском провалилась, когда астрономы догадались обратиться к старинным звездным каталогам. Первым систематически каталогизировать звезды стал Гиппарх, а Птолемей продолжил его труды, оставив потомкам фундаментальный трактат «Альмагест», в котором зафиксированы координаты 1000 с лишним звезд. В 1718 году уже знакомый нам Эдмунд Галлей, изучая звездное небо, неожиданно обнаружил, что как минимум три звезды (Арктур, Процион и Сириус) находятся совсем не там, где их отметили древние греки. Расхождение было столь велико, что об ошибке не могло быть и речи: например, Арктур отстоял на целый градус от указанной в «Альмагесте» точки. Мы помним, что градус – это расстояние, вдвое превышающее диаметр полной Луны. Оставалось предположить, что звезды, как и планеты, обладают собственным движением, только

их движение несопоставимо медленнее, если Арктуру потребовалось более полутора тысяч лет, чтобы сместиться на один градус.

Поиски звездных параллаксов продолжились, но первый успех пришел к астрономам только в 30-х годах XIX века, когда телескопы и астрономические инструменты стали значительно совершеннее. В 1838 году немецкому астроному Фридриху Вильгельму Бесселю удалось определить параллакс 61 Лебеда, годом позже опубликовал свои результаты англичанин Томас Гендерсон (он изучал положение альфы Центавра), а 1840 году сообщил о своих наблюдениях яркой звезды Веги русский астроном Василий Яковлевич Струве. Справедливости ради следовало бы отдать пальму первенства именно Струве, потому что он закончил работу раньше всех – в 1837 году, однако несколько запоздал с публикацией. Звездные расстояния оказались невообразимо огромными. Даже ближайшая к Солнцу звезда – альфа Центавра (на самом деле, это тройная звезда, и ближе всего к Солнцу лежит третий, слабый ее компонент – Проксима, что переводится как «ближайшая») находится на расстоянии 4,3 светового года. Межпланетная верста – астрономическая единица – уже не годится для таких просторов, поэтому астрономы пользуются межзвездной милей – световым годом. *Световой год* – это расстояние, которое луч света, летящий со скоростью 300 тысяч километров в секунду, преодолевает за год. Вспомните, что световому лучу требуется всего 8 минут, чтобы добежать до Солнца, и около 6 часов, чтобы домчаться до Плутона, а до ближайшей звезды ему приходится ползти свыше 4 лет. Если угодно, можно попытаться выразить это расстояние в километрах: поскольку один световой год примерно равен 9,5 триллиона километров, то расстояние до Проксимы Центавра составляет около 40 триллионов километров (40 000 000 000 000 км).

Если вспомнить нашу модель с бильярдным шаром на месте Солнца, Землей в семи с половиной метрах от него и Плутоном на расстоянии около 300 метров, то в таком масштабе дистанция между Солнцем и ближайшей к нему звездой будет равняться почти 2000 километров. А в модели, где Земля была величиной с наручные часы, а Плутон находился в 15 километрах от нее, добраться до Проксимы Центавра будет весьма проблематично, поскольку это расстояние составит около 100 тысяч километров – два с половиной кругосветных путешествия. Еще более наглядный пример придумал один московский лектор. Он взял кусочек мела и объявил его «планетой Земля», а висящую на стене доску – Солнцем. От доски до мела был всего один метр, призванный изобразить астрономическую единицу – 150 миллионов километров, разделяющих Солнце и Землю. «Сколько в этом масштабе до ближайшей звезды?» – спросил лектор у слушателей. Аудитория стала робко высказываться. Кто-то предположил, что звезда окажется в соседнем переулке, но наиболее решительные стояли за городские окраины. Между тем звезда находилась в Ярославле (или любом другом городе, удаленном на 300 километров). Еще раз подчеркнем, что это ближайшая к Солнцу звезда.

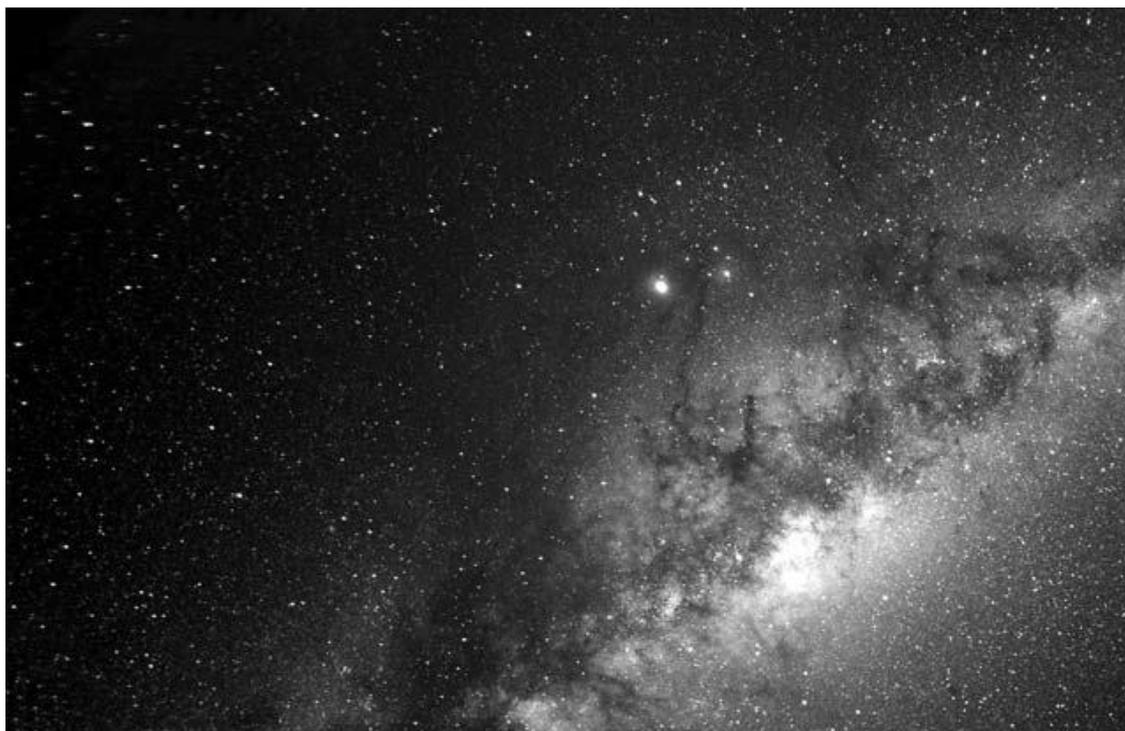
Бесселевская 61 Лебеда оказалась еще дальше – в 11,1 светового года, а до Веги, которую изучал В. Я. Струве, было 27 световых лет. Таков масштаб звездных расстояний. После определения первых параллаксов у ближайших звезд получила широкое распространение еще одна межзвездная миля – *параллакс-секунда*, или парсек. *Парсек* (пк) – это расстояние, на котором звезда при ее наблюдении с противоположных точек земной орбиты изменяет свое видимое положение на одну угловую секунду дуги. Или еще проще: расстояние, с которого земная орбита видна под углом в одну секунду дуги. Один парсек равен 3,26 светового года, 206 265 астрономическим единицам или $30,857 \times 10^{12}$ километрам (чуть больше 30 триллионов километров). Расстояние до Проксимы Центавра составляет 1,3 парсека, до 61 Лебеда – 3,4 парсека, а до Веги – 7,8 парсека. Напрашивался вывод, что звезды – отнюдь не безразмерные точки на небосводе, а гигантские солнца, во всем подобные нашему родному

светилу, только удаленные чудовищно далеко, на расстояние, измеряемое многими световыми годами.

Вычислив истинное расстояние до звезды, можно рассчитать ее светимость, то есть не видимую звездную величину, а подлинную силу ее света, которую принято называть абсолютной звездной величиной. Вполне возможна и обратная процедура: мысленно поместив звезду на любом произвольном расстоянии, можно определить, насколько яркой она будет казаться земному наблюдателю. Абсолютной звездной величиной называется яркость звезды на расстоянии в 10 парсек (32,6 светового года); разумеется, звезды распределяются в пространстве неравномерно, но если мы выстроим их в ряд на указанной дистанции, то сможем сравнивать их действительную светимость. Наше Солнце на расстоянии в 10 парсек было бы весьма слабой звездочкой с абсолютной величиной 4,9, а Сириус – самая яркая звезда нашего неба – светил бы почти так же, как светит на своем месте (2,7 парсека, или около 9 световых лет). Его абсолютная звездная величина составляет 1,4, из чего следует, что истинная светимость Сириуса превышает солнечную в 25 раз. Разумеется, это далеко не предел: голубой гигант Денеб (о классах звезд мы поговорим в следующей главе) превышает по светимости Солнце в 270 тысяч раз; он не выглядит особенно ярким только лишь потому, что находится от нас очень далеко (больше 3 тысяч световых лет).

Другими словами, видимый блеск звезды еще ничего не говорит о количестве света, которое она излучает. Солнце светит чрезвычайно ярко, поскольку расположено буквально в двух шагах. Сириус ярче Веги из созвездия Лиры примерно в четыре раза, а путеводительная Полярная звезда – самая тусклая из них (в шесть раз слабее Веги). Однако если бы мы произвели переоценку ценностей и выстроили эти звезды на одинаковом расстоянии от Земли, то первое место уверенно заняла бы Полярная звезда, на втором месте оказалась бы Вега, на третьем – Сириус, а великолепное Солнце стало бы безнадежным аутсайдером.

Когда в середине позапрошлого века удалось определить расстояние до ближайших звезд, немедленно возник вопрос, как далеко они простираются. Невооруженным глазом можно увидеть около шести тысяч звезд, но когда Галилей посмотрел на небо в свою примитивную зрительную трубу, он сразу же обнаружил, что звезды понатыканы куда гуще. Просто многие представители этого славного семейства настолько слабы, что разглядеть их без помощи телескопа нет никакой возможности. Современная астрономическая техника позволяет различать звезды 25-й величины. Кроме того, уже во времена Гершеля стало ясно, что звезды распределяются в пространстве очень неравномерно. Если посмотреть на небо в темную безлунную ночь, можно заметить слабое туманное свечение, опоясывающее весь небосвод от горизонта до горизонта. К сожалению, яркие городские огни не позволяют разглядеть его как следует (электрификация, с точки зрения астронома, вообще сомнительное благо), но где-нибудь в деревенской глуши можно без большого труда увидеть мягко светящуюся молочную полосу, пересекающую ночное небо. Древние греки называли ее *galaktikos* («млечный, молочный»), а римляне – *via lactea*, что в буквальном переводе означает «млечный путь». Происхождение этого названия связано с античным мифом о струе молока, которая брызнула на небо из груди богини Геры, жены Зевса, когда она отпихнула от себя младенца Геракла.



Галактика Млечный Путь

В направлении Млечного Пути можно насчитать гораздо больше звезд, чем в любой другой части небосвода, поэтому Гершель резонно предположил, что звезды не распределяются равномерно, а собраны в компактную структуру, имеющую форму двояковыпуклой линзы. По мнению Гершеля, наша звездная система (впоследствии ее стали называть Галактикой) могла содержать около 300 миллионов звезд и иметь в поперечнике 15 тысяч световых лет (не забудем, что первые звездные параллаксы были измерены только через 16 лет после смерти Гершеля). Сегодня мы знаем, что наша галактика *Млечный Путь* (или просто *Галактика* с прописной буквы) значительно больше: ее диаметр составляет 100 тысяч световых лет, а количество звезд доходит до 200 миллиардов (впрочем, численность звездного населения, по оценкам разных авторов, колеблется в широких пределах – от 150 до 400 миллиардов звезд).

Здесь необходимо сделать небольшое отступление и рассказать читателю, каким образом были вычислены эти параметры. Поскольку параллактическое смещение с большим трудом удастся измерить даже у ближайших звезд, определение параллакса у объектов, удаленных более чем на 100 световых лет, становится практически неразрешимой задачей. Параллакс – это величина, производная от собственного движения звезды, поэтому понятно, что чем дальше звезда находится, тем труднее уловить ее перемещение по небосводу. Не вдаваясь в детали, скажем, что астрономов выручила так называемая цефеидная шкала. Цефеидами называются пульсирующие переменные звезды, которые строго периодически меняют свой блеск на одну-две звездных величины (мощность излучения возрастает в 2,5–6 раз по сравнению с минимумом). Вообще – то различных переменных звезд существует множество; одна из самых известных – это красный гигант омикрон Кита, открытый еще в конце XVI века немецким астрономом Давидом Фабрициусом. Эта звезда в несколько раз меняет свой блеск с периодом около 11 месяцев, поэтому ее называли Мирой (в переводе с латыни – «удивительная»). Однако наибольшее значение для астрофизиков имеют короткопериодические переменные звезды с периодом от суток до месяца (обычно около недели).

Именно такова дельта Цефея, меняющая блеск с периодом 5,37 суток, которая дала свое имя всему семейству подобных звезд.

В начале прошлого века американский астроном Генриетта Ливитт обнаружила правильную зависимость между светимостью и периодом некоторых цефеид. Чем больше был период, тем больше энергии звезда излучала в единицу времени. Вычислив мощность излучения по зависимости «период – светимость», ученые смогли рассчитать расстояние до цефеиды. Сначала были установлены относительные расстояния (во сколько раз одна звезда ближе или дальше другой), а затем и абсолютные, с учетом лучевой скорости цефеид (в спектре звезды, приближающейся или удаляющейся по лучу зрения, происходит смещение спектральных линий). Астрофизики получили надежный масштаб. А совсем недавно на помощь астрономам пришли сверхновые определенного типа (типа Ia), светимость которых лежит в очень узких пределах. Об этих звездах, получивших название «стандартных свечей», подробно рассказано в главе «И тьма пришла».

К началу XX столетия мир невообразимо расширился. Стало окончательно ясно, что Солнце – одна из многих сотен миллиардов звезд, населяющих нашу Галактику, причем далеко не самая примечательная. В звездной номенклатуре оно числится заурядным желтым карликом класса G. Да и лежит к тому же отнюдь не в центре, как считал, например, Гершель, а на периферии Млечного Пути, в одном из его спиральных рукавов – в 26 тысячах световых лет от центра Галактики (примерно 8 килопарсек). Наглядно вообразить эти подавляющие просторы весьма нелегко. Если мы уменьшим всю Солнечную систему до размеров песчинки, то ближайшая звезда Проксима Центавра окажется в этом масштабе на расстоянии одного метра, а расстояние до центра Галактики составит почти 9 километров. Если же вспомнить модель с бильярдным шаром на месте Солнца, размеры Млечного Пути будут равняться 60 миллионам километров – величине, вполне сопоставимой с расстоянием от Земли до Солнца.

Однако Вселенная не исчерпывается галактикой Млечный Путь. Если бы нам удалось покинуть ее пределы, перед нами распахнулось бы необъятное пустое пространство, непроницаемая угольная чернота, лишенная сколько-нибудь заметных объектов. И только на расстоянии около 200 тысяч световых лет от нашего звездного острова мы бы обнаружили два клочковатых туманных образования неправильной формы – Большое и Малое Магеллановы облака. Они хорошо видны на небе Южного полушария в виде двух белесоватых пятен и выглядят как изолированные фрагменты Млечного Пути. Впервые их описал один из участников кругосветного плавания Фернана Магеллана. Прямого отношения к Млечному Пути они не имеют: это две самостоятельные небольшие галактики, довольно бедные звездами. Малое Магелланово облако лежит в 160 тысячах световых лет от нас, а Большое отодвинуто еще дальше – почти на 200 тысяч световых лет. Хотя Магеллановы облака заметно уступают Млечному Пути в размерах, в них обнаружены весьма любопытные объекты. Например, в Большом Магеллановом облаке расположена звезда S Золотой Рыбы, обладающая наибольшей известной светимостью. Невооруженным глазом она не видна, потому что имеет 8-ю звездную величину, но ее абсолютная светимость превосходит солнечный блеск в 600 тысяч раз! А в Малом Магеллановом облаке находятся сотни уже знакомых нам цефеид, которые систематически изучала Генриетта Ливитт в начале прошлого века.

Если бы мы посмотрели с такого расстояния на нашу собственную галактику, то увидели бы внушительный спиральный диск, отдаленно напоминающий бешено крутящийся водоворот (форму двояковыпуклой линзы или веретена она приобретает при взгляде с ребра). Однако Млечный Путь и Магеллановы облака – это еще далеко не все. В 2 с половиной миллиона световых лет от Млечного Пути лежит спиральная галактика Андромеды, значительно превосходящая нашу по массе и количеству звезд. Она видна невооруженным глазом как слабая звездочка 5-й величины и значится в каталоге Мессье под номером 31,

поэтому получила название М31. (Шарль Мессье – знаменитый французский астроном, одним из первых начавший составлять каталог туманностей и звездных скоплений.)

Галактика Андромеды, Млечный Путь, Магеллановы облака, спираль в Треугольнике (М33) и множество галактик поменьше (общим числом около 40) входят в состав так называемой *Местной группы* с диаметром свыше 3 миллионов световых лет. В пределах 10 Мпк (мегапарсек, то есть миллионов парсек), или более чем 30 миллионов световых лет, разбросано около дюжины аналогичных групп. А в 15 Мпк (почти 50 миллионов световых лет) лежит крупное скопление в созвездии Девы, насчитывающее несколько тысяч галактик. Таким образом, наша Местная группа принадлежит к еще более масштабной структуре, которую принято называть локальным сверхскоплением галактик. Его диаметр составляет 30 Мпк, а толщина – около 10 Мпк (100 и 30 с лишним миллионов световых лет соответственно). Центром этого исполинского галактического облака является вышеупомянутое скопление в Деве.

Галактика Млечный Путь ютится на самом краю локального сверхскопления. А еще дальше, на расстоянии в 90 Мпк (счет идет уже на сотни миллионов световых лет), находится гораздо более крупное скопление в созвездии Волосы Вероники, в состав которого входит больше 10 тысяч галактик. По всей видимости, оно представляет собой часть еще одного гигантского галактического сверхскопления, которых в последнее время открыто несколько десятков. Таким образом, они венчают собой иерархию структур нашей *Метагалактики* (наблюдаемой части Вселенной).



Скопление галактик в созвездии Волосы Вероники

Только на расстояниях порядка многих сотен миллионов световых лет Вселенную можно рассматривать как сравнительно однородную структуру, которая содержит десятки миллиардов галактик. Современная астрофизика располагает высокоточной совершенной аппаратурой, которая позволяет вести наблюдения в самом широком диапазоне волн – от метровых радиоволн до гамма-лучей. Помимо традиционных оптических телескопов широко применяются инфракрасные и радиотелескопы, а также детекторы рентгеновского и гамма-излучения. Бурно развивается нейтринная астрономия. Ученым стали доступны невообразимые расстояния, измеряемые 10–12 миллиардами световых лет, когда мир был

еще молод и свеж, а первые галактики едва успели сформироваться. Таким образом, размеры наблюдаемой части Вселенной можно оценить примерно в 6 тысяч мегапарсек.

Когда мы смотрим на далекие звезды или галактики, следует иметь в виду, что мы перемещаемся вспять по временной оси. Если до Сириуса около 9 световых лет, мы видим его таким, каким он был 9 световых лет назад, потому что свет имеет конечную скорость распространения. Лучи красного гиганта Бетельгейзе из созвездия Ориона пустились в дорогу еще в Смутное время, когда на российском престоле сидел Борис Годунов. Шаровые звездные скопления в центре Галактики вернут нас в последний ледниковый период, а свет туманности Андромеды был испущен в те времена, когда наши обезьяноподобные предки вставали на две ноги и обтачивали первые камни. Самые далекие объекты нашей Вселенной посылают свет из эпохи, удаленной в прошлое на многие миллиарды лет. Солнечной системы и планеты Земля тогда еще не было и в помине.

Чтобы воочию, в живых образах оценить размеры наблюдаемой части Вселенной, или Метагалактики, мысленно уменьшим земную орбиту (ее диаметр 300 миллионов километров) до размеров внутренней электронной оболочки в классической модели атома Бора (ее радиус равен $0,53 \times 10^{-8}$ см). Тогда ближайшая звезда разместится хотя и на небольшом, но вполне макроскопическом расстоянии в 0,014 миллиметра, расстояние до центра Галактики составит 10 сантиметров, а поперечник Млечного Пути будет равен 35 сантиметрам. Галактика Андромеды отступит на целых шесть метров от боровского атома, а расстояние до центральной части скопления галактик в созвездии Девы, куда входит наша Местная группа, будет порядка 120 метров. Радиогалактика Лебедь А (до нее 600 миллионов световых лет) «убежит» в этом масштабе на два с половиной километра, а до далекой радиогалактики ЗС 295 придется шагать и шагать – как-никак 25 километров. В общем, «земной шар громаден», как с пафосом говорила одна учительница начальных классов...

Звездный паноптикум



Вне всякого сомнения, самые примечательные и распространенные объекты нашей Вселенной – это звезды, поэтому имеет смысл начать разговор о ее «обитателях» именно с них. Мир звезд поражает своим разнообразием. Среди них есть звезды-гиганты и звезды-карлики, звезды-коллективисты, предпочитающие сбиваться в стаи, и звезды-анакореты, живущие в гордом одиночестве. Многие звезды образуют так называемые кратные системы из двух или трех звезд, которые обращаются вокруг общего центра тяжести на сравнительно небольшом расстоянии друг от друга. Одни звезды подобны темным призракам, потому что светят в инфракрасном диапазоне, а другие сияют в десятки и сотни тысяч раз ярче нашего Солнца. И только по одному параметру – по массе – они не очень сильно различаются между собой: от 1/10 массы Солнца до 100 солнечных масс.

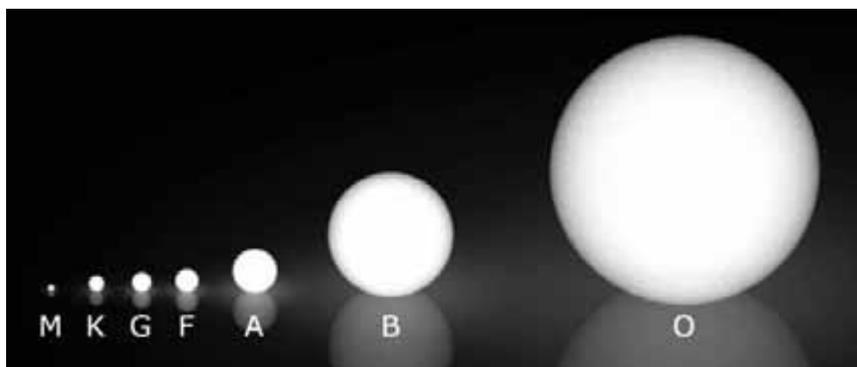
Звезды почти как люди – они рождаются, взрослеют, старятся и умирают. Но если одни уходят в мир иной тихо и незаметно, то кончина других сопровождается грандиозными космическими катаклизмами, получившими название взрывов сверхновых. Такие звезды видны на расстояниях во многие миллионы световых лет, а их яркость превосходит самое богатое воображение: нестерпимый блеск сверхновой звезды затмевает совокупное сияние сотен миллиардов звезд целой галактики.

Как известно, ничто не вечно, и к звездам это относится в полной мере. Каждой отмерен свой срок. Одни звезды живут ярко и празднично, сгорая в считанные миллионы лет. Когда по Земле разгуливали динозавры, их еще не было на свете. Эфемерное бытие этих бабочек-поденок укладывается в одно короткое галактическое мгновение. Другие ведут размеренное неторопливое существование и будут жить долго: время жизни звезд, чуть менее массивных, чем Солнце, может достигать 25 миллиардов лет (наша Вселенная родилась всего около 14 миллиардов лет назад). Солнце зажглось примерно 5 миллиардов лет назад и сегодня является «мужчиной в полном расцвете сил», как говаривал Карлсон. Подобно лирическому герою Данте, оно успело пройти земную жизнь всего лишь до половины. Некоторым звездам уготована нелегкая судьба: когда они спалют дотла свое ядерное горючее, то превратятся в черные дыры – удивительные объекты, обладающие весьма странными и даже пугающими свойствами. Путь к центру черной дыры – это сошествие во ад, дорога без возврата, поскольку силы тяготения на ее поверхности достигают таких величин, что даже свет не в состоянии выбраться наружу. Чудовищная гравитация подобно тяжелой надгробной плите навсегда отгораживает черную дыру от нашего мира. Впрочем, о черных дырах мы в свое время еще поговорим.

Первое, что бросается в глаза даже при беглом взгляде на ночное небо, это отчетливая разница между звездами в блеске и цвете. Древние греки, как мы помним, разбили всю звездную публику на шесть классов, которые получили название звездных величин. Звезды первой величины в 2,512 раза ярче, чем звезды второй величины, и так далее. Таким образом, звезды шестой величины слабее звезд первой величины в 100 раз. Помимо видимых звездных величин, существуют величины абсолютные, о чем я уже писал в предыдущей главе, поэтому повторяться не буду. По сути дела, абсолютная звездная величина есть то же самое, что и светимость звезды (ее обычно выражают в единицах светимости Солнца и обозначают буквой L), то есть полное количество энергии, излучаемое звездой в единицу времени. Звезды по этому параметру сильно разнятся. Напомню, что светимость Денеба

превышает солнечную в 270 тысяч раз, а блеск S Золотой Рыбы в Большом Магеллановом облаке превосходит светимость Солнца в 600 тысяч раз. Среди других ярких звезд нашего неба можно упомянуть Антарес (альфа Скорпиона), Бетельгейзе (альфа Ориона) и Ригель (бета Ориона), светимости которых превышают солнечную в 4 тысячи, 8 тысяч и 45 тысяч раз соответственно. С другой стороны, светимость карликовых звезд может, в свою очередь, уступать светимости Солнца в тысячи и десятки тысяч раз.

Увидеть разницу в цвете невооруженным глазом удастся только у очень ярких звезд. Скажем, Антарес и Бетельгейзе будут красными, Капелла – желтой, Сириус – белым, а Вега – голубовато-белой. А вот небольшой любительский телескоп или даже приличный полевой бинокль заметно улучшат качество картинки. Цвет звезды, а следовательно, и ее спектр определяются температурой ее поверхностных слоев. При температуре 3–4 тысячи градусов Кельвина звезда будет красной, при 6–7 тысячах градусов приобретет отчетливый желтоватый оттенок, а горячие звезды с температурой 10–12 тысяч градусов сияют белым или голубоватым светом. В современной астрономии имеются надежные и вполне объективные методы измерения цвета звезд, с помощью которых получают величину под названием «показатель цвета». Каждому значению показателя цвета соответствует определенный тип спектра.



Спектральные классы звезд

Принято выделять семь основных спектральных классов, которые обозначают латинскими буквами O, B, A, F, G, K и M. Для пущей точности каждый спектральный класс разбит на 10 подклассов (от 0 до 9, с ростом в сторону уменьшения температуры). Таким образом, звезда со спектром B9 будет ближе по спектральным характеристикам к спектру A2, чем, например, к спектру B1. Звезды классов O–B голубые (температура поверхности – примерно 100–80 тысяч градусов), A – F – белые (11–7,5 тысячи градусов), G – желтые (примерно 6 тысяч градусов), K – оранжевые (около 5 тысяч градусов), M – красные (2–3 тысячи градусов).

Наше Солнце относится к спектральному классу G2 (температура его поверхностных слоев – около 6 тысяч градусов) и считается, как это ни обидно, карликовой желтой звездой. Впрочем, размеры этого карлика вполне приличные – диаметр Солнца составляет около 1,4 миллиона километров.

Некоторые звезды могут периодически менять свой блеск. В первой главе рассказывалось о цефеидах, пульсирующих переменных звездах, которые иногда называют «маяками Вселенной», так как благодаря им удалось построить надежную шкалу, с помощью которой астрономы научились определять расстояния до далеких звезд и других галактик. Цефеиды представляют собой желтые сверхгиганты с температурой поверхности примерно такой же, как у Солнца. Но светят они гораздо ярче, потому что мощность их излучения превосходит солнечную в десятки тысяч раз. Периодическое изменение блеска звезд подобного типа связано со сложными физико-химическими процессами в их недрах, поэтому их при-

нято называть истинными, или физическими, переменными. Звезда Ми́ра из созвездия Кита тоже относится к числу настоящих переменных, хотя период изменения блеска у нее гораздо больше и составляет примерно 11 месяцев (у цефеид – от суток до месяца).

Однако встречаются переменные звезды, колебания блеска которых никак не связаны с особенностями их внутреннего строения. Примером такой звезды является Алголь (бета Персея), которую в старину называли «глазом дьявола» и «вурдалаком». Ее яркость изменяется на целую звездную величину каждые трое суток без трех часов. Греки помещали бету Персея в голову Медузы Горгоны – жуткого клыкастого чудовища в женском обличье и со змеями вместо волос. Взор этой крылатой твари превращал все живое в камень. Алголь относится к числу так называемых затменных двойных звезд, потому что причины переменности его блеска принципиально иные, чем у дельты Цефея или омикрона Кита. Вокруг Алголя обращается слабая звезда – второй компонент двойной системы, орбита которой лежит в одной плоскости с земной орбитой. Когда она оказывается между Алголем и Землей на луче зрения земного наблюдателя, то частично его затмевает. Таким образом, интенсивность излучения Алголя в действительности не усиливается и не ослабевает, а остается строго постоянной. Просто-напросто на пути распространения световых лучей периодически возникает препятствие.

Резонно предположить, что раз температура поверхности красных звезд спектрального класса М в два с лишним раза меньше солнечной, то они должны светить очень слабо. Однако на самом деле все оказалось далеко не столь элементарно. Некоторые звезды класса М (скажем, «летающая» Барнарда) действительно тлеют едва-едва, хотя находятся совсем близко от Солнца (расстояние до Барнарды составляет около 6 световых лет). Но многие другие, безусловно, попадающие в тот же самый спектральный класс, горят очень ярко, несмотря на значительную удаленность от Солнца. Например, Антарес в Скорпионе и Бетельгейзе из созвездия Ориона – классические красные звезды – не только имеют видимую величину меньше единицы, но и обладают большой собственной светимостью. Мощность излучения Бетельгейзе превосходит солнечную в 8 тысяч раз. Понятно, что столь высокая светимость сравнительно холодной звезды может объясняться только ее исполинскими размерами. И хотя поверхность красного гиганта нагрета всего лишь до 2–3 тысяч градусов, суммарная интенсивность светового потока будет весьма значительной по сравнению с Солнцем. Пусть квадратный километр поверхности Бетельгейзе светит относительно слабо, но таких квадратных километров на теле звезды насчитывается на порядки больше, поэтому мощность ее излучения во много раз превысит солнечную.

В 1920 году удалось измерить диаметр Бетельгейзе. Хотя звезды даже в самые мощные телескопы видны как безразмерные точки, был придуман остроумный метод вычисления их размеров. Дело в том, что лучи света, приходящие к земному наблюдателю от противоположных точек звездного диска (который мы не воспринимаем как диск), образуют, тем не менее, некоторый угол между собой. Разумеется, измерить его величину непосредственно невозможно, но световые лучи, накладываясь друг на друга, интерферируют между собой, так что с помощью особого прибора (интерферометра) можно измерить результат подобного сложения и вычислить величину угла. Зная этот угол и расстояние до звезды, можно без особого труда рассчитать ее действительный диаметр. Конечно, метод имеет свои ограничения (угол не должен быть исчезающе малым), но во многих случаях он исправно работает и весьма неплохо себя зарекомендовал.

Вычисленный таким образом поперечник Бетельгейзе поражаел воображение. Оказалось, что он почти в 350 раз больше диаметра Солнца и составляет примерно 500 миллионов километров. Напомним читателю, что орбита Марса лежит в 220 миллионах километров от Солнца. Если бы удалось поместить эту звезду на место нашего светила, поверхностные слои фотосферы Бетельгейзе распространились бы далеко за орбиту Марса, и все четыре

планеты земной группы (Меркурий, Венера, Земля и Марс) погрузились бы в звездные недра. Поверхность Бетельгейзе будет почти в 120 тысяч раз больше поверхности Солнца, поэтому вряд ли стоит удивляться, что ее светимость в несколько тысяч раз превосходит солнечную. Объем этой красной звезды в 40 миллионов раз больше объема Солнца. Несмотря на столь фантастические размеры, масса Бетельгейзе оценивается всего лишь в 12–17 солнечных масс, то есть ее средняя плотность должна быть ничтожно малой. Красные сверхгиганты, внутри которых могут поместиться несколько планетных орбит Солнечной системы, можно сравнить с огромными пузырями. Если средняя плотность солнечного вещества равна примерно $1,4 \text{ г/см}^3$ (почти в полтора раза больше плотности воды), то у таких чудовищно раздувшихся пузырей она будет в миллионы раз меньше, чем у воздуха.



Бетельгейзе – красный гигант созвездия Орион

Бетельгейзе – отнюдь не уникал среди звезд. Встречаются красные сверхгиганты столь невообразимо огромные, что звезды вроде Антареса или Бетельгейзе покажутся рядом с ними сущими крохами. Например, эпсилон Возничего превосходит в размерах альфу Ориона по меньшей мере впятеро, но мы его даже не видим, потому что излучение этого монстра почти целиком лежит в инфракрасной области спектра. Обнаружить его удалось из-за присутствия яркого спутника, который периодически затмевается звездой-невидимкой. Эпсилон Возничего является инфракрасным сверхгигантом с поперечником в 3,7 миллиарда километров. Если поместить его на место Солнца, он без труда «проглотит» первые 6 планет (Меркурий, Венеру, Землю, Марс, Юпитер и Сатурн) и заполнит Солнечную систему вплоть до орбиты Урана. Другая звезда этого типа – YV Цефея А – лишь немногим уступает в размерах своей товарке из созвездия Возничего. Ее поперечник больше диаметра Бетельгейзе в три с лишним раза. Поиски звезд-невидимок связаны с большими трудностями, поскольку земная атмосфера почти непрозрачна для инфракрасных лучей; кроме того, собственное тепловое излучение Земли гасит тепло, приходящее из космоса. Тем не менее удалось измерить

температуру некоторых звезд, которые светят в инфракрасном диапазоне. Она находится в пределах 800–1200 градусов Кельвина, что, конечно же, очень мало: 800 градусов – это только-только температура красного каления. Темные и холодные сверхгиганты вроде YV Цефея или эпсилона Возничего должны быть пустыми разреженными мирами, потому что их начинка размазана по колоссальному объему. Если бы каким-то чудом удалось перенести вещество этих звезд в земную лабораторию, его средняя плотность почти не отличалась бы от вакуума.

Коль скоро в природе имеются красные гиганты и сверхгиганты, естественно предположить, что должны существовать и красные карлики, попадающие в тот же самый спектральный класс М. Вспомним хотя бы «летающую» звезду Барнарда, резво движущуюся по небосводу со скоростью более 10 угловых секунд в год. Это очень много, потому что собственное движение звезд измеряется, как правило, гораздо меньшими величинами (около одной секунды в год или еще меньше). Выдающаяся легкоатлетка обязана своим названием американскому астроному Эдварду Барнарду, который открыл ее в 1916 году. Красные карлики, заметно уступающие по массе Солнцу, отнюдь не пузыри, а вполне увесистые полноценные звезды. Более того, сплошь и рядом они значительно плотнее нашего светила. Например, красный карлик Крюгер 60В легче Солнца всего в пять раз, хотя его объем составляет 1/125 часть солнечного. Следовательно, его средняя плотность должна равняться 35 г/см^3 , что в 25 раз превосходит плотность Солнца ($1,4 \text{ г/см}^3$) и в полтора раза – плотность платины. Даже такое твердое небесное тело, как наша родная планета, имеет среднюю плотность порядка $5,5 \text{ г/см}^3$ (плотность каменных пород земной коры составляет $2,6 \text{ г/см}^3$, а к центру Земли она достигает величины $11,5 \text{ г/см}^3$), то есть уступает Крюгеру в шесть с лишним раз.



Звезды-карлики

В скобках заметим, что плотность всех небесных тел (и предельно разреженные газовые пузыри вроде Антареса и Бетельгейзе здесь тоже не исключение) стремительно растет по направлению к центру. Чтобы Солнце могло стабильно существовать, не схлопываясь под действием сил гравитации, плотность его центральных областей должна достигать величин порядка 100 г/см^3 , что превышает плотность платины в пять раз. Понятно, что в центре Крюгера 60В аналогичный показатель по крайней мере на два порядка больше.

Однако плотность красных карликов – форменный пустяк на фоне карликов белых. Белые карлики – это маленькие и очень горячие звезды, представляющие собой заключительный этап эволюции небесных светил вроде нашего Солнца. Температура их поверхностных слоев колеблется в широких пределах – от 5 тысяч градусов у «старых» холодных звезд до 50 тысяч у «молодых» и горячих. По массе они вполне сопоставимы с Солнцем, а вот их поперечник, как правило, не превышает диаметра Земли (примерно 12 800 километров). Таким образом, их средняя плотность достигает величин порядка 10^6 г/см^3 и превышает солнечную в сотни тысяч раз. Один кубический сантиметр вещества белого карлика может весить несколько тонн. Первый белый карлик был открыт в 1844 году Фридрихом Бесселем, когда он неожиданно обнаружил аномалии в движении Сириуса – самой яркой звезды нашего неба. Его траектория по непонятной причине периодически отклонялась от среднего положения, поэтому Бессель предположил, что Сириус входит в двойную систему, то есть имеет массивную звезду-спутник, а оба светила обращаются вокруг общего центра масс. В

1862 году в окрестностях Сириуса удалось разглядеть тусклое пятнышко, и с тех пор яркий компонент этой двойной системы носит имя Сириус А, а его незначительный темный сосед получил название Сириус В.

Сириус В – далеко не самый мелкий представитель популяции белых карликов. Поскольку его светимость в 300 раз меньше солнечной, а температура поверхности достигает 8000 градусов Кельвина (температура Солнца – 5800 градусов), не составляет большого труда вычислить его размеры. Радиус Сириуса В должен быть около 20 тысяч километров (на 5 тысяч километров меньше Нептуна, но втрое больше Земли), а поскольку его масса составляет 95 % массы Солнца, то средняя плотность его вещества равняется 10^5 г/см³.

Разумеется, Сириус В – отнюдь не исключительное явление. Вскоре был обнаружен сверхплотный спутник Проциона, почти вдвое легче Солнца, а затем находки хлынули как из рога изобилия. На сегодняшний день белых карликов обнаружено достаточно много (хотя поиски этих маленьких тусклых звезд сопряжены с немалыми трудностями), и по предварительным оценкам на их долю приходится несколько процентов звезд нашей Галактики.

Несмотря на чудовищный разброс звездного населения по параметру плотности – от почти полного вакуума до величин, сравнимых с плотностью атомного ядра, массы звезд различаются не очень сильно – от 0,1 массы Солнца до 100 солнечных масс. Таким образом, самая тяжелая звезда массивнее самой легкой всего в тысячу раз. Причем следует иметь в виду, что на крайних полюсах шкалы помещается сравнительно немного звездной публики, так как масса подавляющего большинства звезд колеблется в пределах 0,2–5 солнечных масс. Масса – чрезвычайно важная характеристика, поскольку определяет не только звездный *modus vivendi*, но и ее печальный финал, а в известном смысле – даже посмертную судьбу звезды. Но об эволюции звезд мы в свое время поговорим отдельно.

А как звезду взвесить? Если со светимостью, показателем цвета и спектральным классом, определяющим химический состав и температуру поверхности небесного тела, мы худо-бедно разобрались, как все-таки определить его массу? Незаменимым и безотказным инструментом в подобных случаях являются уже знакомые нам двойные звезды. Дело в том, что измерить массу одиночной звезды практически невозможно. Конечно, интенсивность ее блеска и спектр могут рассказать о многом, поскольку зависят от массы, но все же хотелось бы знать эту величину наверняка. К счастью, убежденные анахореты вроде нашего Солнца встречаются сравнительно редко, так как большинство звезд предпочитают жить в дружном коллективе. Чаще всего это парные двойные системы, реже – тройные и даже четырехкратные. Создать конструкцию из трех или четырех звезд весьма нелегко, поскольку такие системы оказываются динамически неустойчивыми. Чтобы сделать их стабильными, требуется соблюсти ряд условий. Третий компонент должен обращаться вокруг тесной двойной системы по достаточно широкой орбите, никогда не приближаясь на расстояние меньше 8—10 радиусов внутренней «двойки». Он сам, в свою очередь, может быть двойной системой, и тогда две эти пары будут воспринимать друг друга как точечные объекты. В первом случае мы имеем тройную звезду, а во втором – четырехкратную. Из-за особенностей процессов звездообразования систем большей кратности в природе не существует. Двойные звезды обращаются вокруг общего центра тяжести – так называемого барицентра, поскольку каждая из них тянет одеяло на себя, «раскачивая» соседку своим гравитационным полем. Поэтому, если известны периоды обращения звезд и расстояния от них до барицентра, не составит большого труда однозначно вычислить массу каждой звезды.

Следует сказать несколько слов о плоской диаграмме «спектр – светимость» (или «температура – светимость»), потому что астрономы широко ею пользуются. Поскольку первые диаграммы такого типа стали применять датчанин Э. Герцшпрунг и американец Г. Н. Рассел, их обычно называют диаграммами Герцшпрунга – Рассела. На горизонтальной оси этой диаграммы слева направо отложены спектральные классы от О до М, то есть в порядке

убывания температуры. На вертикальной оси снизу вверх располагаются светимости, или абсолютные звездные величины, по мере их возрастания. Независимо друг от друга Герцшпрунг и Рассел обнаружили эмпирическую связь между температурой и светимостью. Как правило, звезда тем ярче, чем она горячее, хотя, конечно, бывают и исключения (вспомните красные сверхгиганты). Но в среднем эта закономерность работает совсем неплохо. Поэтому чем левее лежит спектральный класс исследуемой звезды на горизонтальной оси (следовательно, чем больше ее температура), тем выше она взбирается по вертикальной шкале абсолютных звездных величин (светимости).

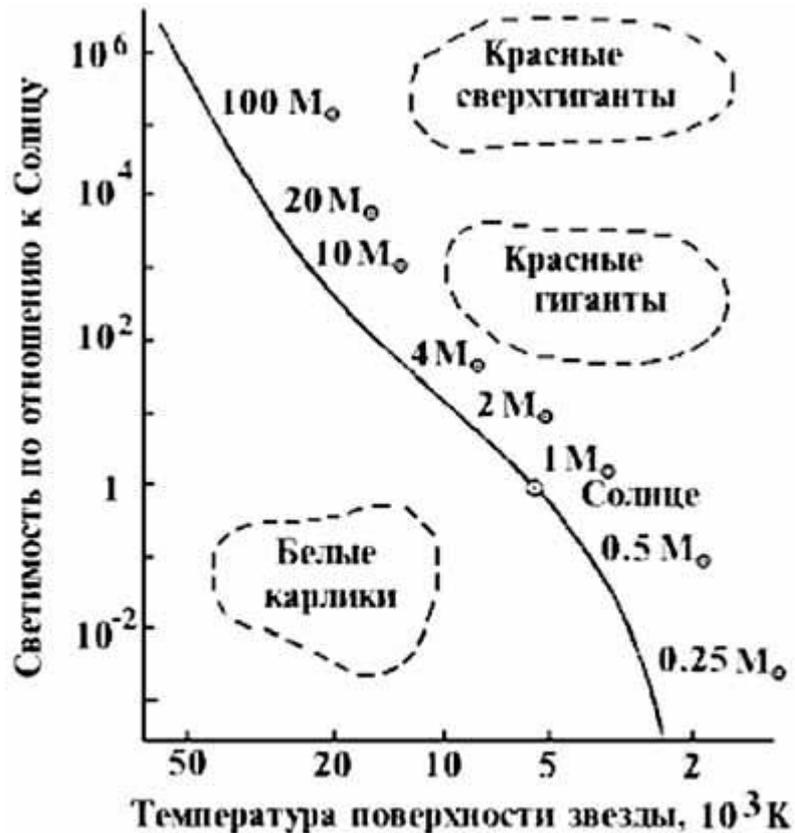


Диаграмма Герцшпрунга – Рассела

Таким образом, большинство звезд расположились по диагонали в виде широкой полосы, идущей от верхнего левого угла диаграммы, где лежали горячие и яркие звезды, к нижнему правому углу, населенному холодными и тусклыми красными карликами. Эту широкую диагональную ленту назвали главной последовательностью.

Звезды, лежащие на главной последовательности, располагаются не абы как, но подчиняются определенным правилам. Сразу же выявилась взаимосвязь между температурой звезды и ее радиусом, поскольку оказалось, что звезда с определенной температурой поверхности не может быть сколь угодно большой, а значит, и ее светимость тоже укладывается в некие фиксированные параметры. Кроме того, светимость связана с массой звезды. Если идти вдоль главной последовательности от спектральных классов O–B до K – M, то массы звезд непрерывно уменьшаются. Скажем, у звезд класса O массы достигают нескольких десятков солнечной, тогда как у звезд класса B они не превышают 10 масс Солнца. Наше Солнце, как известно, имеет спектральный класс G2, поэтому оно будет находиться почти в середине главной последовательности, немного ближе к ее правому нижнему краю. У звезд более поздних классов массы заметно меньше солнечной; например, красные карлики спек-

трального класса М легче Солнца в 10 раз. Физическую причину всех этих закономерностей удалось понять только после создания теории термоядерных реакций.

Однако на главную последовательность попадает далеко не все звездное население. Красные гиганты и сверхгиганты (их традиционно принято называть красными, хотя среди них есть и желтые звезды) образуют отдельную ветвь, которая широкой полосой растет от середины главной последовательности и уходит в правый верхний угол диаграммы. Нам уже хорошо знакомы эти звезды с огромной светимостью и низкой температурой поверхности. На фоне основной массы звездного населения гигантов сравнительно немного. А в нижнем левом углу диаграммы разместились белые карлики – горячие звезды с низкой светимостью, что говорит об их очень малых размерах. Забегая немного вперед, скажем, что белые карлики представляют собой закономерный финальный этап эволюции некоторых звезд. Термоядерные реакции в их недрах давно уже не идут, и они медленно остывают. Итак, напрашивается вывод, что и красные гиганты, и белые карлики – это своего рода производственные отходы, определенная стадия эволюции звезд, покинувших главную последовательность. А поскольку вопросы жизни и смерти – одни из наиболее животрепещущих, настало время поближе познакомиться с рождением и эволюцией звезд.

По современным представлениям, звезды рождаются внутри газово-пылевых облаков, которые начинают сжиматься под действием собственных гравитационных сил. Межзвездная среда только на первый взгляд кажется ничем не заполненным пустым пространством, а в действительности она содержит значительные количества газа и пыли, которые распределяются весьма неравномерно. Больше всего газа и пыли концентрируется в галактических спиральных рукавах, и здесь же обнаруживаются так называемые ассоциации молодых звезд, что является дополнительным аргументом в пользу их рождения из газово-пылевых облаков. Помимо молекулярного водорода и атомарного гелия, такие облака содержат мелкие частицы космической пыли, сложенные более тяжелыми элементами. И хотя никому еще не удалось от начала до конца проследить все фазы формирования звезды, в самом общем виде этот процесс можно представить следующим образом.

После обособления и уплотнения фрагмента облака наступает фаза его быстрого сжатия. Плотность сгустка стремительно растет, а его прозрачность неуклонно падает, поэтому накапливающееся тепло не может его покинуть, и сгусток начинает разогреваться. Радиус такой протозвезды намного превосходит радиус Солнца, но она продолжает сжиматься, потому что давление газа и температура внутри облака не в состоянии уравновесить гравитационные силы. Когда температура в центре протозвезды достигает нескольких миллионов градусов, в ее недрах вспыхивают термоядерные реакции синтеза. Температура и давление продолжают расти, и наступает такой момент, когда они начинают эффективно противодействовать силам гравитационного сжатия. Протозвезда становится полноценной звездой и довольно быстро «садится» на главную последовательность.

Чтобы «пробежать» самую раннюю фазу своей эволюции, звезде требуется сравнительно немного времени. Скорость появления на свет зависит от веса младенца. Тяжелые звезды рождаются гораздо быстрее легких. Например, у нашего Солнца, по некоторым оценкам, ушло на это дело примерно 30 миллионов лет, а звезды, втрое превосходящие его по массе, выскакивают как из пушки – всего лишь за 100 тысяч лет. А вот у красных карликов, масса которых на порядок меньше солнечной, роды растягиваются на сотни миллионов лет, но зато и живут такие звезды намного дольше. Масса звезды определяет не только обстоятельства ее появления на свет и первые шаги в этом мире, но и накладывает властный отпечаток на всю ее последующую судьбу. Но сначала разберемся с процессами, протекающими в звездных недрах, которые обеспечивают новорожденной безбедное существование.

Любая звезда представляет собой саморегулирующийся ядерный реактор, обеспечивающий длительное и стабильное производство энергии. В звездных недрах набирают обо-

роты реакции термоядерного синтеза, в ходе которых водород превращается в гелий, а тот, в свою очередь, поэтапно трансформируется во все более тяжелые элементы. Основной ядерный цикл звезды – это превращение водорода в гелий, потому что водорода в процентном отношении в ее составе больше всего. Например, наше Солнце, благополучно прожившее на белом свете около 5 миллиардов лет, содержит чуть больше 80 % водорода. Остальные 20 % приходятся на гелий и другие, более тяжелые элементы, но гелия, разумеется, несопоставимо больше. Трансформация водорода в гелий в основном осуществляется через так называемый протон-протонный цикл, а поскольку он очень медленный, то обеспечивает стабильное горение звезды на протяжении 10 миллиардов лет. В дебри физико-химических процессов, совершающихся в недрах звезд, мы не полезем, а отметим только, что время жизни звезды на главной последовательности (то есть период ее относительно спокойного существования) зависит в первую очередь от ее исходной массы. Нашему Солнцу и подобным ему звездам уготована долгая и размеренная жизнь (не меньше 5 миллиардов лет), а красные карлики проживут еще дольше.

Любая звезда представляет собой раскаленный плазменный шар (гелиевые и водородные плазмы, как выражаются астрофизики), а бушующие в ее недрах термоядерные реакции играют двоякую роль: во-первых, поддерживают на необходимом уровне давление и температуру, которые противостоят гравитационному сжатию, а во-вторых, обогащают звезду тяжелыми элементами. Средний химический состав наружных слоев звезды выглядит примерно так: на 10 тысяч атомов водорода приходится 1 тысяча атомов гелия, 5 атомов кислорода, 2 атома азота, один атом углерода и 0,3 атома железа. Относительное содержание других элементов еще меньше. Однако накопление тяжелых элементов (а без них невозможно возникновение планет земного типа и, по всей видимости, жизни) наиболее активно происходит в массивных звездах, которые ощутимо тяжелее Солнца. Гелий в центрах таких звезд начинает превращаться в элементы углеродного цикла (углерод, кислород, азот и т. д.), а они, в свою очередь, трансформируются в еще более тяжелые элементы вплоть до железа. Наше Солнце, как известно, сравнительно небольшая звезда (желтый карлик спектрального класса G2), и расчеты показывают, что если бы оно первоначально на 100 % состояло из водорода, ему потребовалось бы не менее 20 миллиардов лет, чтобы достичь современного соотношения водорода, гелия и других элементов. Между тем солнечный «век» насчитывает не больше 5 миллиардов лет. Каким же образом Солнцу удалось столь быстро обогатиться тяжелыми элементами, если его массы для этого явно недостаточно?

Чтобы ответить на этот вопрос, нужно посмотреть, что происходит со звездами на главной последовательности. Как мы помним, находясь на главной последовательности, звезда стабильно излучает на протяжении долгого времени, и ее положение на диаграмме «спектр – светимость» не меняется. Однако расход водородного топлива, поддерживающий термоядерные реакции синтеза в недрах, неодинаков у разных звезд. Звезды, сравнимые с Солнцем по массе, живут весьма экономно, поэтому запасов водорода им хватит надолго. Красные карлики – еще большие скряги: бережно считая каждый грош, они проживут вдвое, а то и втрое-вчетверо дольше нашего Солнца. А вот массивные звезды – великие транжиры и моты: самые тяжелые из них будут находиться на главной последовательности всего лишь несколько миллионов лет. Бурная жизнь в молодые годы приводит к ранней старости.

Что же происходит со звездой, когда весь (или почти весь) водород в ее ядре выгорает? Когда водородное топливо подходит к концу, ядро звезды начинает сжиматься, а его температура стремительно растет. В результате формируется очень плотная и горячая область, состоящая из гелия с небольшой примесью более тяжелых элементов. Газ в подобном состоянии называется вырожденным. В центральной части ядра ядерные реакции практически останавливаются, но довольно активно продолжают протекать на его периферии. Звезда начинает быстро разбухать, пухнуть как на дрожжах, а ее размеры и светимость значительно уве-

личиваются. Звезда сходит с главной последовательности и превращается в красный гигант с температурой поверхности около 3 тысяч градусов Кельвина.

Однако в центральных областях распухшей звезды гелий продолжает трансформироваться в углерод и кислород вплоть до самых тяжелых элементов. Что произойдет, когда гелиевое топливо тоже закончится, как водород на предыдущем этапе? Дальнейший ход событий зависит от первоначальной массы звезды. Если она была небольшой, вроде нашего Солнца, внешние слои сбрасываются, образуя планетарную туманность (разлетающееся облако газа), в центре которой загорается уже знакомый нам белый карлик – горячая звезда размером примерно с Землю и с массой порядка массы Солнца. Средняя плотность вещества белого карлика составляет 10^6 г/см³.

Белые карлики – весьма любопытные объекты. Представляя собой, по сути дела, мертвую звезду (термоядерные реакции давным-давно сошли на нет), они продолжают излучать, а гравитационное сжатие тем не менее не в силах преодолеть противодействующее ему высокое давление. Сразу же возникает вопрос: откуда это давление берется, если температура внутренних областей звезды сравнительно невысока (действительно так), а термоядерные реакции приказали долго жить? Во всем «виноваты» парадоксальные законы квантовой механики. Под действием гравитации вещество белого карлика уплотняется настолько, что атомные ядра буквально втискиваются внутрь электронных оболочек соседних атомов. Электроны утрачивают интимную связь со своими родными атомами и начинают свободно путешествовать в межатомных пустотах по всему пространству звезды, в то время как голые ядра образуют устойчивую жесткую систему – некое подобие кристаллической решетки. Такое состояние называется вырожденным электронным газом, и хотя белый карлик продолжает остывать, средняя скорость электронов уменьшаться не думает. По законам квантовой механики, чем ближе друг к другу находятся электроны, тем сильнее должны различаться их скорости, из чего следует, что большая часть электронов будет двигаться очень быстро. Послушаем физиков:

Такое квантовомеханическое движение никак не связано с температурой вещества, оно создает давление, называемое давлением вырожденного электронного газа. У белых карликов именно эта сила уравнивает силу их собственной гравитации.

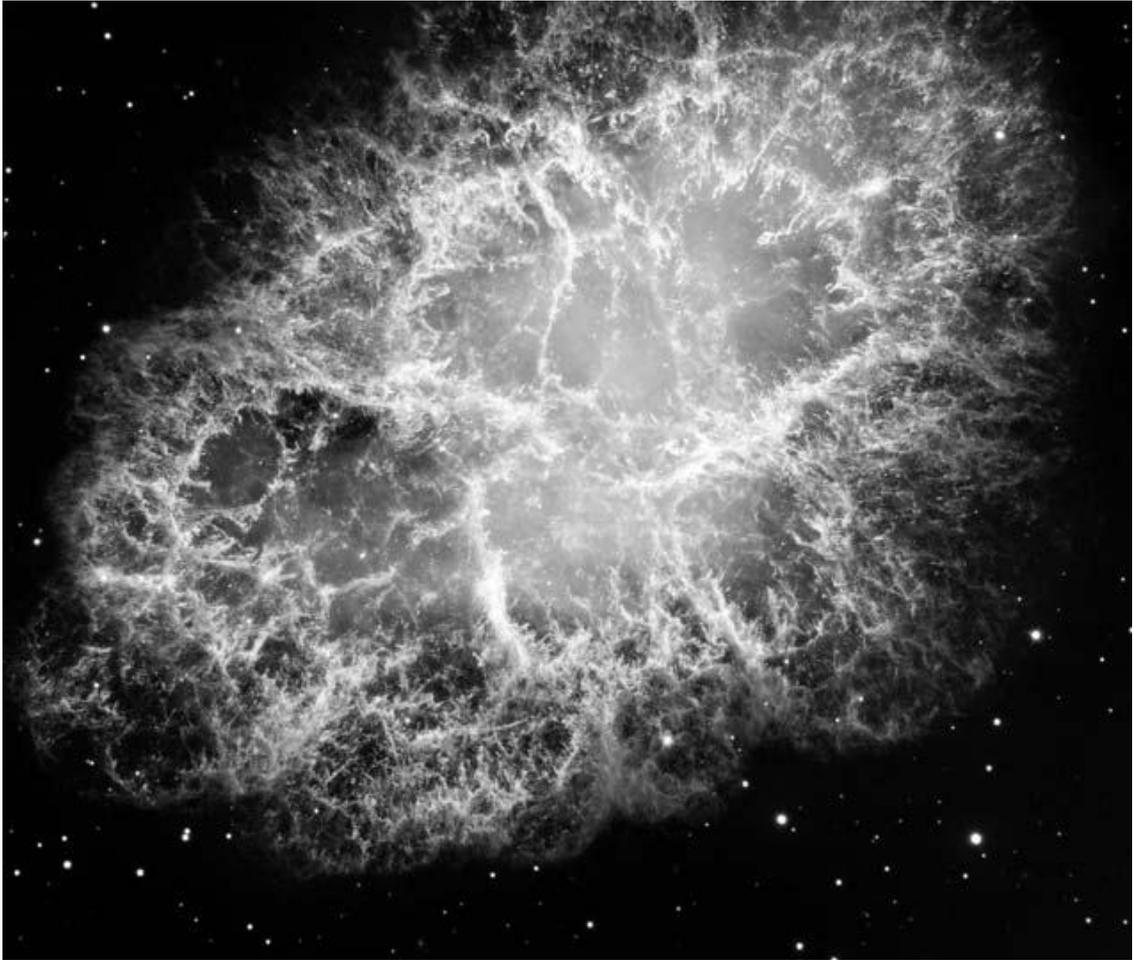
Таким образом, белые карлики как бы «вызревают» внутри красных гигантов и представляют собой заключительный этап эволюции большинства звезд. Это мертвые, постепенно остывающие миры, внутри которых весь водород выгорел, а ядерные реакции прекратились. Между прочим, в отдаленном будущем такая незавидная участь постигнет и наше Солнце. Как показывают расчеты, примерно через 5–6 миллиардов лет оно сожжет весь водород и превратится в красного гиганта, увеличив свою светимость в сотни раз, а радиус – в десятки. Любопытно, что подобную эволюцию нашего светила предсказал Герберт Уэллс в романе «Машина времени». Если вы, читатель, помните, его путешественник по времени увидел в далеком будущем огромное багровое Солнце в полнеба, повисшее над пустынным морем. Откровенно говоря, Уэллс немного обмишурился, поскольку распухшее Солнце должно было нагреть поверхность Земли до нескольких сотен градусов по Цельсию, так что путешествовавший во времени изжарился бы заживо вместе со своим неуклюжим агрегатом. Но не будем цепляться к классику по мелочам. На стадии красного гиганта Солнце проживет несколько сотен миллионов лет, а потом сбросит оболочку и превратится в белого карлика.

А как поведет себя более массивная звезда после исчерпания гелия? Если ее начальная масса была больше 8–10 солнечных масс, в центре звезды формируется луковичеобразное ядро, состоящее из тяжелых элементов, окруженных слоями из более легких. В некоторый момент такое ядро теряет устойчивость и начинает катастрофически сжиматься. Это

явление принято называть гравитационным коллапсом. В зависимости от массы ядра его центральная часть либо превращается в сверхплотный объект – нейтронную звезду, либо коллапсирует «до упора», образуя черную дыру. Чудовищная гравитационная энергия, которая выделяется в ходе сжатия, срывает оболочку и внешнюю часть ядра, выбрасывая их наружу с высокой скоростью. Происходит грандиозный взрыв, сопровождающийся рождением сверхновой звезды. Нам не известны космические катаклизмы более масштабные, чем вспышки сверхновых; в течение некоторого времени такая звезда светит ярче целой галактики. Постепенно сброшенная газовая оболочка остынет и затормозится (в межзвездном пространстве много разреженного газа), а со временем сформирует газово-пылевое облако, в котором удельный вес тяжелых элементов будет весьма ощутим. Объясняется это тем, что в течение своей короткой, но бурной жизни массивная звезда успела накопить много тяжелых элементов, вплоть до железа, некоторая часть которых улетела в межзвездное пространство во время взрыва. Когда газопылевое облако начнет конденсироваться под действием гравитационных сил, внутри него может вспыхнуть новая звезда. Подобные звезды, родившиеся на руинах прежних, принято называть звездами второго поколения, и наше Солнце, похоже, как раз относится к числу именно таких звезд.

Таким образом, в природе наблюдается некоторая преемственность: массивные звезды первого поколения гибнут, обогащая межзвездное пространство тяжелыми элементами, которые служат строительным материалом для звезд второго поколения. Все химические элементы тяжелее гелия образовались в звездных недрах в ходе термоядерного синтеза, а самые тяжелые элементы возникли при вспышках сверхновых. У Земли есть железное ядро, на которое приходится около трети ее массы, так что можно приблизительно прикинуть, какое количество железа выплюнула доисторическая сверхновая 5 миллиардов лет тому назад. Все, что нас окружает на Земле, да и сама Земля – это звездное вещество, доставшееся нам в наследство. Можно сказать, что ядерные реакции в недрах звезд – главная причина разнообразия окружающего мира. В далеком прошлом во Вселенной тяжелых элементов было гораздо меньше, чем сейчас, о чем свидетельствуют данные наблюдательной астрономии. Спектроскопические исследования показали, что звездная публика сильно различается по своему химическому составу. Например, горячие массивные звезды, концентрирующиеся в галактической плоскости, в несколько десятков раз богаче тяжелыми элементами, чем звезды шаровых скоплений, лежащих около центра Галактики.

Вспышка сверхновой – очень редкое явление. За последнюю тысячу лет в нашей Галактике вспыхнуло всего три сверхновых – в 1054 году, в 1572 году и в 1604 году. Сверхновую 1572 года, вспыхнувшую в созвездии Кассиопеи, наблюдал датский астроном Тихо Браге. В период максимума своего блеска она сияла ярче Венеры. Сверхновая 1604 года уступала в яркости звезде Тихо Браге, но все же и она в максимуме блеска соперничала с Юпитером. Она зажглась в созвездии Змееносца, и ее наблюдали Иоганн Кеплер и Галилео Галилей. Что касается сверхновой 1054 года, то о ней сохранились упоминания в китайских хрониках, из которых следует, что она была видна даже днем, а в максимуме блеска многократно превосходила Венеру. Сегодня считается, что Крабовидная туманность в созвездии Тельца и находящийся в ней пульсар (быстро вращающаяся нейтронная звезда) являются остатками сверхновой 1054 года. Крабовидная туманность – облако клубящегося газа, пронизанное рваными нитями, – хоть и медленно, но вполне отчетливо расползается по небу. Кажется бы, ничего особенного, но поскольку расстояние до этой туманности превышает 4 тысячи световых лет, это означает, что скорость разлета ее газов достигает 1500 километров в секунду. Между тем скорость обычных газовых туманностей в нашей Галактике не превышает 20–30 километров в секунду. Только чудовищный по силе взрыв мог сообщить массе газа столь высокую скорость.



Крабовидная туманность как остаток сверхновой

Хотя вспышки сверхновых – явление весьма редкое, по мере совершенствования техники астрономических наблюдений их стали обнаруживать все чаще и чаще. Галактик насчитывается десятки миллиардов, и где-нибудь сверхновая обязательно вспыхнет. А поскольку в максимуме своего блеска они способны затмевать галактику, в которой зажглись, их можно увидеть на таких расстояниях, какие только доступны современным телескопам. Например, сверхновая S Андромеды, вспыхнувшая в этой галактике в 1885 году, имела абсолютную звездную величину минус 19, из чего следует, что ее светимость в течение короткого времени в 10 миллиардов раз превышала светимость Солнца. Ее даже можно было видеть невооруженным глазом как очень слабую звездочку 6-й величины, а ведь туманность Андромеды отделяют от нашей Галактики почти 2 с половиной миллиона световых лет. В наши дни в других галактиках открывают несколько десятков сверхновых в год.

Хотя все вспышки сверхновых представляют собой финальный этап жизни звезды, астрономы выделяют несколько их типов в зависимости от характера спектра и светимости. Обычно говорят о двух типах этих редких звезд. Сверхновые I типа – старые и не очень массивные звезды, вспыхивающие как в эллиптических, так и в спиральных галактиках. Мощностность излучения сверхновых этого типа особенно велика. Сверхновые II типа связывают с молодыми массивными звездами, быстро «пробежавшими» свой эволюционный путь. Их обнаруживают в рукавах спиральных галактик, где продолжают идти процессы звездообразования, а в эллиптических галактиках они не вспыхивают никогда.

От сверхновых следует отличать обычные новые звезды. Они вспыхивают сравнительно часто (около 100 вспышек в год в нашей Галактике), а мощность излучения этих звезд

в тысячи и десятки тысяч меньше. Все без исключения новые являются тесными двойными системами, как правило, состоящими из белого карлика и нормальной звезды. Инициатором взрыва обычно становится белый карлик, сгоревшая дотла звезда, от которой остался только пепел давно прекратившихся термоядерных реакций. Из-за близости между компонентами двойной системы вещество поверхностных слоев спутника перетекает на белый карлик, и когда его накапливается много, термоядерные реакции могут зажечься вновь. Процесс носит вспышечный характер и напоминает взрыв гигантской водородной бомбы. На протяжении нескольких часов или суток звезда достигает максимума блеска, а затем долгие месяцы или даже годы медленно угасает. Масса сброшенной оболочки всегда значительно меньше массы самой звезды, так что она не разрушается при взрыве, как сверхновая, а остается в целости и сохранности. Принято считать, что новые теряют 1/100 000 своей массы, тогда как у сверхновых I типа этот показатель колеблется в пределах от 1/10 до 9/10, а у сверхновых II типа – от 1/100 до 1/10. По прошествии определенного времени новая звезда может вспыхнуть повторно (иногда это происходит через несколько десятилетий). Сверхновые звезды повторно не зажигаются никогда.

Итак, после катастрофического взрыва массивной сверхновой остается крохотный сгусток чудовищной плотности – так называемая нейтронная звезда. Если начинка белого карлика представляет собой вырожденный электронный газ, то в нейтронной звезде свободных электронов нет. Ее масса настолько велика, что давление электронного газа не в силах противостоят нарастающему гравитационному сжатию. Образно говоря, электроны «вдавливываются» в протоны, в результате чего протоны превращаются в нейтроны. За исключением внешних слоев нейтронной звезды (коры), ее вещество состоит в основном из нейтронов и очень небольшого количества протонов и электронов. Давление в центре нейтронной звезды достигает столь больших величин, что может в несколько раз превышать плотность атомного ядра. Разумеется, атомное ядро тоже построено из протонов и нейтронов, но там на них действуют только ядерные силы, а в случае нейтронной звезды к ним добавляется тяжелейший гравитационный пресс. Можно сказать, что нейтронная звезда представляет собой сплошное атомное ядро.

Чтобы сколько-нибудь наглядно вообразить чудовищную тесноту недр нейтронной звезды, вспомним, что размер атома составляет в среднем 10^{-8} см, а размер атомного ядра – 10^{-13} см. Таким образом, ядро меньше атома в целом в 100 тысяч раз, а поскольку практически вся масса атома сосредоточена в ядре, обычное вещество состоит почти что из пустоты. Для сравнения: на отрезке между Землей и Солнцем уляжется чуть больше 100 солнечных диаметров и почти 12 тысяч поперечников Земли, тогда как между атомным ядром и ближайшей электронной оболочкой (орбитой) без труда разместятся 100 тысяч атомных ядер. Если мы притиснем ядра вплотную друг к другу, плотность вещества вырастет в 10^{15} раз и превысит плотность атомного ядра. Плотность нейтронной звезды оценивается в 5×10^{15} г/см³, а это, между прочим, несколько миллиардов тонн. При массе порядка двух солнечных масс подобный объект будет совершенной крохой – 10–15 километров в диаметре.

Структура нейтронной звезды весьма сложна и плохо изучена. Как ведет себя вещество при плотностях, превосходящих ядерную, можно только гадать. Предложено несколько моделей, описывающих строение нейтронных звезд, но все они оказываются в той или иной степени гипотетическими. Специалисты единодушны только в одном: нейтронная звезда имеет слоистую структуру. Поверхностный слой – это плазма, захватывающая прилетающие из космоса релятивистские частицы, которые двигаются по спиральям вдоль магнитных силовых линий и интенсивно излучают в рентгеновском диапазоне. Далее идет слой, имеющий кристаллическую структуру, а вслед за ним – слой из тяжелых ядер, нейтронов и электронов. Еще глубже располагаются плотно упакованные нейтроны, а в самом центре нахо-

дится ядро из кварк-глюонной плазмы. По направлению от поверхности к центру плотность возрастает от $4,3 \times 10^{11}$ г/см³ до $1,2 \times 10^{15}$ г/см³.

Типичная модель нейтронной звезды представляет собой слоистую луковицу: внешняя кора из электронов и ядер, внутренняя кора (сверхтекучие нейтроны, ядра с избытком нейтронов и электроны), внешнее ядро (сверхтекучие нейтроны, сверхпроводящие протоны, нормальные электроны) и внутреннее ядро, около которого стоит большой знак вопроса. По некоторым данным, нейтронная материя может там превращаться в кварковую. Как известно, нейтроны и протоны состоят из кварковых триплетов. При не очень высокой плотности кварки легко удерживаются внутри нейтрона энергией сильного взаимодействия, но в центре нейтронной звезды, где плотность зашкаливает, они получают возможность проникать в соседнюю частицу, то есть начинают свободно путешествовать внутри сверхплотной области. Кварковые триплеты разваливаются, и тогда такое вещество следует рассматривать как кварковый газ или жидкость. По расчетам теоретиков, кроме обычных *u*- и *d*-кварков (верхнего и нижнего, из которых построены нуклоны – протоны и нейтроны) в таком газе обнаруживаются в большом количестве так называемые *s*-кварки (странные), которые входят в состав тяжелых частиц – гиперонов. Поэтому такие кварковые звезды принято называть «странными». (О субъядерных частицах, в том числе о кварках и глюонах, подробно рассказывается в главе «Кирпичи мироздания».)

Итак, в соответствии с некоторыми моделями сначала рождается обычная нейтронная звезда, а после того как вещество в ее недрах совершит переход в кварковое состояние, она эволюционирует в кварковую звезду. Впрочем, полной ясности в этих вопросах нет.

Разумеется, обнаружить нейтронную звезду путем оптических наблюдений невозможно. Ядерные реакции внутри них не идут, поэтому излучение тоже отсутствует. Кроме того, площадь поверхности нейтронной звезды настолько мала, что ее видимый блеск будет иметь совершенно ничтожную величину. Но если она входит в двойную систему, то характер движения обычной звезды может выдать присутствие соседки-невидимки. Однако открытие пришло, как это часто бывает, совсем с другой, неожиданной стороны. Во второй половине прошлого века удалось зарегистрировать мощные источники радиоизлучения, интенсивность которого периодически менялась со временем. В 1967 году Джоселин Белл, аспирантка английского радиоастронома Энтони Хьюиша, случайно обнаружила совершенно необычный радиоисточник, который излучал в импульсном режиме строго периодически – каждые 1,33 секунды. Через короткое время нашли еще три источника с такими же короткими интервалами. Когда версия об искусственном происхождении сигналов отпала (поначалу заговорили о внеземных цивилизациях и даже возникла небольшая паника), остался единственный вариант – естественное происхождение радиоимпульсов. Загадочные радиоисточники получили название пульсаров и довольно скоро были отождествлены с быстро вращающимися нейтронными звездами.

Если взять звезду с параметрами нашего Солнца (диаметр около 1,4 миллиона километров и период обращения вокруг оси 25 суток) и спрессовать ее вещество в объеме с радиусом около 10 километров, то экваториальная скорость при условии сохранения массы чудовищно увеличится – примерно в 100 тысяч раз. А период вращения в миллиарды раз уменьшится и составит тысячные доли секунды. Правда, пульсар, найденный Белл, имел период заметно больший, но все равно это очень маленькая величина, совершенно нетипичная для небесных тел. Между прочим, пульсар в Крабовидной туманности совершает 30 оборотов в секунду, что уже весьма близко к расчетной величине, а пульсар в созвездии Лисички имеет период 0,00155 секунды. Понятно, что столь быстро вращаться могут только такие тела, линейные размеры которых измеряются десятками километров. А если это так, то перед нами не что иное, как нейтронные звезды.

С рекордно коротким периодом импульсов мы разобрались. Осталось выяснить, откуда берется столь мощное радиоизлучение. Верхний слой нейтронной звезды представляет собой плазму, пронизанную мощным магнитным полем. Заряженные частицы двигаются вдоль силовых линий и в конце концов оказываются в области магнитных полюсов, откуда выбрасываются узконаправленные пучки частиц с высокой энергией – так называемые джеты (от английского jet – «струя»). Стремительное вращение звезды придает вылетающим частицам дополнительную энергию. Из расчетов следует, что сжатие звезды приводит к увеличению ее магнитного поля, поэтому, зная его среднее значение у обычных звезд, можно вычислить, каким оно окажется у нейтронной звезды. Магнитное поле вырастет в 10^{12} раз и составит колоссальную величину 10^8 – 10^9 тесла. Ну а поскольку магнитный полюс не обязан лежать на оси вращения (географический полюс Земли тоже не совпадает с магнитным), джет будет описывать конус. Мы увидим пульсар в тот момент, когда он «смотрит» прямо на Землю. В следующее мгновение он «отвернулся», а затем цикл повторяется вновь.

Впоследствии кроме радиопульсаров были обнаружены рентгеновские пульсары, а также источники мощного потока гамма-излучения (МПП-источники) с той же самой строгой периодичностью. Рентгеновские пульсары являются компонентами тесных двойных систем. Вещество звезды-соседки перетекает на его поверхность под действием сил гравитации (это явление называется аккрецией), откуда и черпают энергию вылетающие фотоны. Однако излучать в рентгеновском диапазоне могут и одиночные нейтронные звезды. Совсем недавно, в 90-х годах прошлого века, были обнаружены семь радиотихих нейтронных звезд с экстремально большим отношением рентгеновского потока к оптическому. Сначала предположили, что во всем виноват механизм аккреции: хотя у одинокой нейтронной звезды нет собрата, она может захватывать межзвездный газ, в результате чего ее поверхность разогревается до миллиона градусов и начинает излучать в рентгеновском диапазоне. Однако по ряду причин эта гипотеза не подтвердилась. Нейтронные звезды рождаются очень горячими (температура поверхности составляет порядка миллиарда градусов), а затем постепенно остывают, но даже через сотни тысяч лет после рождения ее температура может превышать миллион градусов. Поэтому, вероятнее всего, мы видим семерку молодых и горячих нейтронных звезд. Все они расположены сравнительно недалеко от Земли (примерно 120 парсек), из чего можно заключить, что Солнечная система в настоящее время проходит через область недавнего звездообразования (так называемый пояс Гулда).

Итак, на закате своей жизни звезда сбрасывает газовую оболочку, а ее ядро начинает стремительно сжиматься. Если его масса была меньше 1,4 массы Солнца, гравитационный коллапс остановится на стадии белого карлика. Если масса ядра находится в пределах 1,4–3,0 солнечной массы, оно сколлапсирует в нейтронную звезду. Если же ядро еще массивнее (более трех масс Солнца), возникнет провал в неведомое – загадочный объект под названием «черная дыра». Критическую величину в 1,4 массы Солнца принято называть пределом Чандрасекара, по имени индийского физика-теоретика, рассчитавшего этот параметр.

Под черной дырой следует понимать область пространства-времени, полностью закрытую для внешнего наблюдателя. Из-под гравитационной крышки, навсегда прихлопнувшей раздавленную звезду, не может выбраться наружу ни один сигнал, в том числе и луч света. Путь внутрь черной дыры – дорога в один конец: любой предмет, провалившийся в ее непостижимую пучину, исчезает бесследно. Поэтому черная дыра – очень меткий термин, отражающий самую суть этого невразумительного объекта. Вечное упокоение световых квантов на дне гравитационной могилы объясняется сравнительно просто. Чем массивнее тело, тем больше энергии надо затратить, чтобы оторваться от его поверхности. Чтобы разорвать путы земного притяжения (сойти с околоземной орбиты), космический корабль должен развить скорость 11,2 километра в секунду. Эта величина называется второй космической скоростью, или скоростью убегания. На поверхности Солнца она составит 700 кило-

метров в секунду, а вот скорость убегания для черной дыры равна скорости света, поэтому покинуть ее нутро не может ничто.

Неподготовленному читателю может показаться странным, что не такой уж безумно тяжелый объект (свыше трех солнечных масс) навсегда останавливает световые лучи. Почему в таком случае массивные звезды запросто излучают свет? Однако дело тут не столько в массе как таковой, а в том объеме, в который эта масса помещена. Если бы мы стали сжимать Землю, бережно сохраняя ее полную массу, то увидели бы, что вторая космическая скорость неуклонно растет, хотя масса планеты не меняется. Когда радиус Земли уменьшится до 9 мм, а плотность ее вещества вырастет до 10^{27} г/см³ (на 13 порядков больше плотности атомного ядра), скорость убегания на ее поверхности сравняется со скоростью света. После этого пресс можно спокойно отложить в сторону. Согласно общей теории относительности, Земля с этого момента начнет неудержимо коллапсировать самостоятельно, пока на ее месте не образуется микроскопическая черная дыра.

Термин «черная дыра» ввел в научный обиход американский физик Джон Уилер в 1969 году, хотя представление об исключительно массивных телах, не излучающих по этой причине света, возникло много раньше – еще в конце XVIII века. В 1783 году кембриджский преподаватель и астроном-любитель Джон Мичел предположил, что в природе должны существовать компактные и тяжелые небесные тела, на поверхности которых скорость убегания превысит скорость света. Численное значение радиуса, при котором скорость света уравнивается со второй космической скоростью, нетрудно рассчитать для любого тела, если известна его масса. Эту величину принято называть гравитационным радиусом (r_g), и она легко вычисляется по формуле $r_g = 2GM/c^2$, где G – гравитационная постоянная, а c – скорость света. В случае Земли, как говорилось выше, гравитационный радиус составит 9 мм, для Солнца он будет равен 3 километрам, а очень массивные тела (порядка нескольких миллиардов масс Солнца) будут иметь гравитационный радиус, превосходящий размеры Солнечной системы. Подобного рода сверхмассивные черные дыры, как считают астрофизики, встречаются в ядрах спиральных галактик.

Черная дыра – странный объект. Если заглянуть в ее темное нутро, там не обнаружится даже малейших признаков вещества, а только полная пустота вплоть до самого центра, где сидит так называемая сингулярность – безразмерная точка с бесконечно большой плотностью, в которой сосредоточена вся масса черной дыры. На этот факт косвенно указывает и вышеприведенная формула: если бы черная дыра была равномерно заполнена веществом, то массе был бы пропорционален объем, а никак не радиус. Впрочем, особо чувствительные люди, чурающиеся бесконечности в любых ее ипостасях, могут считать сердцевину черной дыры неким своеобразным квантом пространства с диаметром 10^{-33} см (так называемая планковская длина). Тогда плотность невообразимо стиснутого вещества будет выражаться чрезвычайно большим, но все-таки конечным числом – 10^{93} г/см³ (планковская плотность), поэтому материя, проглоченная черной дырой, не стянется в точку с нулевой размерностью, но займет настолько крохотный объем (порядка 10^{-99} см³), который и объемом-то называть как-то неловко. Обо всех этих непростых вещах подробно рассказывается в «перинатальных» главах, посвященных рождению нашей Вселенной («Всеобъемлющая инфляция», «И тьма пришла», «Мнимое время Стивена Хокинга»).

Если вокруг черной дыры на расстоянии ее гравитационного радиуса выстроить некую условную сферу, охватывающую сингулярность со всех сторон, мы получим физическую границу этого удивительного объекта, называемую горизонтом событий, или сферой Шварцшильда, по имени известного немецкого астрофизика. Все, что находится под горизонтом событий, принципиально недоступно, ибо в рамках общей теории относительности время теснейшим образом связано с пространством и напрямую зависит от силы тяжести. Важно

подчеркнуть, что горизонт событий отнюдь не является реальной поверхностью скукожившегося объекта, но представляет собой условную границу, навсегда отделившую наш простой и понятный мир от потрохов черной дыры, где нарушаются все известные физические законы.

Поскольку ход времени зависит от силы тяжести (чем массивнее тело, тем медленнее течет время на его поверхности с точки зрения удаленного наблюдателя), по мере приближения к горизонту событий часы будут непрерывно замедлять свой ход, пока стрелки не застынут в полной неподвижности. На горизонте событий время останавливается вовсе, но только с точки зрения внешнего наблюдателя. Как говорят физики, любому сколь угодно малому промежутку времени на горизонте событий соответствует сколь угодно большой промежуток времени в бесконечно удаленной точке. Если черная дыра не вращается, радиус горизонта событий в точности равен ее гравитационному радиусу, а вот у вращающихся черных дыр он меньше гравитационного радиуса. Пожалуй, стоит еще раз напомнить, что горизонт событий – это своего рода полупроницаемая мембрана, которая допускает перемещение материальных тел только в одном-единственном направлении – к центру черной дыры, где царят неведомые нам законы квантовой гравитации. Если мы заберемся под горизонт, чтобы полюбопытствовать, как выглядит сингулярность, вернуться назад будет уже невозможно. Более того, рассказать о том, что именно мы там увидели, тоже не получится, ибо никакой физический сигнал не сумеет выбраться из-под невидимой, но вполне реальной крышки. Хотя информация – понятие идеальное, но она непременно предполагает наличие материального носителя, а он-то как раз и будет навсегда похоронен под горизонтом. Сингулярность со всеми ее загадками надежно укрыта от взглядов извне и упорно не дается в руки. Бог не терпит голой сингулярности, шутят физики.

Едва ли не в каждой книжке по космологии приводится пример с путешественниками, оказавшимися в окрестностях черной дыры. Мы тоже не станем оригинальничать и двинемся по проторенной дорожке. Итак, представим себе, что на орбите возле черной дыры кружит космический корабль, от которого отделяется спускаемый модуль с астронавтом на борту. Отважный исследователь задался целью проникнуть под горизонт событий, чтобы вдоль и поперек изучить потроха черной дыры. Что увидят его спутники, оставшиеся на борту корабля, и что увидит он сам? Экипаж космического корабля с удивлением обнаружит, что по мере приближения к горизонту событий скорость модуля падает почти до нуля. С каждой секундой он движется все медленнее и медленнее, еле ползет, как сонная муха, вплотную зависнув над горизонтом, но никак не может его пересечь. Экипажу космического корабля так никогда и не доведется увидеть, как модуль ныряет под горизонт, поскольку для этого нужно затратить бесконечно большое время.

Предположим, что астронавт ежеминутно отправляет сигнал своим спутникам, оставшимся на борту корабля. Сначала сигналы исправно следуют друг за другом, но с некоторого момента интервалы между ними начинают неудержимо расти. Модуль как приклеенный висит впритык к горизонту, а сигналы приходят все реже и реже. И вдруг словно ножом отрезало – полная тишина. Спутники нашего отважного первопроходца могут дожить до глубоких седин, но так и не услышат очередного сигнала. Чтобы его зарегистрировать, им пришлось бы ждать целую вечность. А между тем астронавт в спускаемом модуле продолжает исправно, каждую минуту, посылать сигнал за сигналом...

Теперь переместимся на борт модуля и посмотрим на происходящее глазами астронавта. Он безо всякого труда пересекает горизонт событий и погружается в неведомые недра черной дыры. Правда, торжествовать ему придется недолго, потому что приливные силы сначала вытянут его тело на манер спагетти, а потом искрошат в мелкую вермишель. Суть приливного эффекта заключается в том, что гравитационные силы с разной интенсивностью воздействуют на диаметрально противоположные точки протяженного объекта. На Земле

мы этого не замечаем, потому что двухметровый перепад по высоте между макушкой и пятками слишком мал, чтобы относительно слабое земное тяготение могло себя проявить. Иное дело – черная дыра с ее чудовищной гравитацией. Два метра под горизонтом событий – колоссальное расстояние, поэтому человеческое тело будет неминуемо разорвано на части. Однако столь выраженный приливной эффект наблюдается только у небольших черных дыр. Если же наш астронавт нырнет под горизонт событий сверхмассивной черной дыры (порядка миллионов и миллиардов солнечных масс), с ним ровным счетом ничего не случится. Он сможет в полной мере насладиться открывшимся перед ним зрелищем и своими собственными глазами увидит наконец пресловутую сингулярность, только вот рассказать об этой феерии будет некому. Находясь под горизонтом событий, отправить сигнал наружу нет никакой возможности. Судьба нашего путешественника печальна: внутри черной дыры все дороги ведут в Рим, то бишь к ее центру, поэтому рано или поздно приливные силы вырастут настолько, что ему несдобровать.

Перевернуть подобные вещи непросто. Здравый смысл начинает немедленно протестовать, когда речь заходит о таких объектах, как черные дыры. Но что такое здравый смысл? Интеллект умной обезьяны, которая росла в земной биологической нише. К сожалению, подлинный мир, мир чудовищных температур и невообразимых давлений, не имеет пересечений с нашим житейским опытом. Впрочем, покойному отечественному астрофизику И. С. Шкловскому в свое время удалось придумать неплохую аналогию, позволяющую более или менее наглядно вообразить непредставимое.

Интересную аналогию можно провести между переходом от жизни к смерти для каждого индивидуума и прохождением какого-либо объекта через шварцшильдовский радиус внутрь некоторой черной дыры. Подобно тому, как с точки зрения *внешнего* наблюдателя последнее событие *никогда не произойдет*, с точки зрения индивидуума, вернее сказать, его «я», собственная смерть непредставима и в этом смысле тоже никогда не произойдет. Следует отметить, что в этой аналогии понятия «внутренний» и «внешний» как бы меняются местами. Если в «астрономическом» случае мир с его пространственно-временными соотношениями определяется *вне* окружающих черные дыры шварцшильдовских сфер, то в «психобиологическом» реальное сознание индивидуума находится *внутри* него, будучи неразрывно связанным с его «я». Автор был бы рад, если бы философы-профессионалы развили эту аналогию <...>

Может быть, это прояснило бы некоторые до сих пор нерешенные проблемы взаимоотношения индивидуума и окружающего мира, частью которого он является. А пока как не вспомнить стихи Сельвинского, написанные лет тридцать назад, в которых развивается близкая идея:

Подумайте, как это хорошо...

Нам только жить! Нигде и никогда
мы не увидим собственного трупа.
Мы умираем только для других,
но для себя мы умереть не можем.

Вернемся к нашим космическим путешественникам. Итак, экипаж на борту корабля видит пришитый к черной дыре модуль, потому что ход времени на горизонте событий, с точки зрения далекого наблюдателя, замедляется бесконечно (можно сказать, что время

остановилось). Время растянулось, как идеальный резиновый шнур из школьного учебника физики, и не в силах перетечь от одного мгновения к другому. Времени больше не существует, от него осталась только одна нескончаемо длинная секунда. Как сказал Пастернак: «И полусонным стрелкам лень/ Ворочаться на циферблате,/ И дольше века длится день, /И не кончается объятье». Одним словом, смотреть совершенно не на что.

А вот пассажир модуля, если выглянет в окошко, наоборот, увидит чрезвычайно много интересного. С легкостью проскользнув под горизонт событий и совершенно этого не заметив, он начнет стремительно погружаться в недра черной дыры. Кантовское звездное небо над головой будет съезживаться, пока не станет буквально в овчинку, а пассажиру покажется, что он спустился на дно исполинского колодца. Чудовищная гравитация скручивает пространство все туже, а время за пределами черной дыры мало-помалу начинает ускорять свой бег. И вот оно уже летит вскачь, и годы, века и тысячелетия мелькают как в калейдоскопе. Низвержение в Мальстрем продолжается, жуткий булавочный провал в ничто все ближе и ближе, а время превратилось в бушующий вихрь. За считанные доли секунды по своим часам путешественник увидит далекое будущее Вселенной. Он увидит, как сгорает Земля в хромосфере распухшего Солнца, словно не было 5 миллиардов лет, как уже само Солнце сбрасывает свою газовую шубу и превращается в белый карлик, как гаснут и умирают звезды. Вся история Вселенной уложится в исчезающе малый миг, а стрела времени, еще совсем недавно уходившая в вечность, сожмется в точку. Все грядущие события до конца времен произойдут разом и вдруг.

Однако странности черных дыр на этом не кончаются. Время внутри черной дыры может выкидывать такие коленца, что только держись. Например, пространственная и временная координаты могут поменяться местами. Если бы пассажиру модуля, с точки зрения экипажа космического корабля, каким-то чудом удалось проникнуть под горизонт событий (допустим, экипаж дожидается этого события бесконечно долго), то для внешнего наблюдателя (в данном случае это экипаж корабля) пассажир модуля двигался бы уже не в пространстве, а во времени. Астронавт внутри невращающейся черной дыры увидит не только другую вселенную, причинно не связанную с нашей, но и свое собственное будущее.

Если же черная дыра вращается (очень трудно вообразить точечный объект с нулевой размерностью, который крутится вокруг собственной оси), она приобретает еще более необычные свойства. В этом случае радиус горизонта событий становится меньше гравитационного радиуса, и сфера Шварцшильда оказывается внутри так называемой эргосферы, которая представляет собой вихревое гравитационное поле. Все тела, ею захваченные, обречены на неустанный движенье. Если астронавт нырнет под горизонт событий вращающейся черной дыры, он сможет увидеть не одну, а множество других вселенных, причинно не связанных с нашей. Более того, многие физики не без оснований полагают, что на дне этого угольно-черного водоворота распаивается коридор, ведущий в так называемую белую дыру – черную дыру, вывернутую наизнанку. Вещество, затаенное под горизонт событий ненасытной черной дырой, тут же выбрасывается в параллельную вселенную. И. Д. Новиков, руководитель Центра теоретической астрофизики при Копенгагенском университете, пишет:

«Все, что попадает в черную дыру, оказывается в другой вселенной...
еще до того, как будет поглощено черной дырой».

Такие червоточины (*wormholes* по-английски), соединяющие между собой изолированные миры, причинно не связанные друг с другом, ученые условились называть кротовыми норами. Если сравнить черную дыру с преисподней, с последними кругами Дантова ада, то выход из нее можно уподобить Эдему или, по крайней мере, чистилищу. Однако потенциальный путешественник, проскользнувший по кротовой норе в другую вселенную, не сможет поделиться впечатлениями об увиденном, поскольку тоннель, ведущий в белую

дыру, – дорога с односторонним движением. Вернуться назад ему не позволят законы физики.

Необходимо отметить, что все без исключения черные дыры неразличимы как близнецы-братья (или сестры). Они все на одно лицо. Каковы бы ни были начальные условия их формирования, разнообразие истончается без следа, и на выходе всегда получается автомат Калашникова. Любая черная дыра характеризуется всего лишь тремя параметрами – массой, угловым моментом (спином) и электрическим зарядом, и все, что в нее проваливается, тоже утрачивает индивидуальные характеристики.

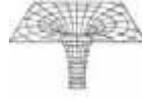
Если еще 20–30 лет тому назад черные дыры считались изящной теоретической спекуляцией, а в их реальном существовании было позволительно сомневаться, то сегодня 99 % астрофизиков убеждены, что черные дыры уже открыты, хотя Нобелевская премия за их обнаружение пока никому не присуждена. Проще всего наблюдать черные дыры в тесных двойных системах, состоящих из нормальной оптической звезды и невидимого компонента, на поверхность которого перетекает вещество звезды-соседки. При этом вокруг черной дыры образуется так называемый аккреционный диск, похожий на крутящийся водоворот. Вещество падает на черную дыру по суживающейся спирали, а скорость его движения во внутренних частях аккреционного диска достигает огромных значений, близких к скорости света. Газ разогревается до сотен миллионов градусов, и черная дыра начинает мощно излучать в рентгеновском диапазоне. Основное выделение энергии происходит задолго до того, как вещество скроется под горизонтом событий, поэтому рентгеновское излучение может быть зарегистрировано внешним наблюдателем. По ряду параметров оно заметно отличается от рентгеновских джетов (выбросов) нейтронных звезд, так что здесь вполне возможен дифференциальный диагноз. К настоящему времени обнаружено свыше 20 рентгеновских объектов в маломассивных двойных системах, которые считаются кандидатами в черные дыры. Если же к этому списку добавить сверх-массивные черные дыры в ядрах галактик, тогда их число превысит три сотни.

Все черные дыры можно разделить на три типа: 1) черные дыры с массой от 3 до 50 солнечных масс, представляющие собой продукт эволюции массивных звезд; 2) сверхмассивные черные дыры в ядрах галактик, достигающие 10^6 – 10^9 масс Солнца; 3) так называемые первичные черные дыры, образовавшиеся на ранних стадиях жизни Вселенной. Своим появлением на свет они обязаны локальным деформациям метрики пространства-времени в первые моменты после Большого взрыва, задолго до того, как зажглись первые звезды. Поскольку черные дыры постепенно испаряются (механизм их квантового испарения был предсказан Стивеном Хокингом), до наших дней могли дожить первичные черные дыры только с массой более 10^{12} кг.

В заключение этой главы – небольшая цитата из книги «Астрономия: век XXI».

Итак, благодаря космическим исследованиям и введению в строй крупных наземных телескопов нового поколения открыты сотни массивных и чрезвычайно компактных объектов, наблюдаемые свойства которых очень похожи на свойства черных дыр, предсказываемые общей теорией относительности Эйнштейна. Можно надеяться, что <...> в ближайшие десятилетия будет окончательно доказано существование черных дыр во Вселенной. Это приведет к прорыву в понимании природы пространства-времени и сущности гравитации.

Кое-что о здоровом смысле



Человек, впервые соприкоснувшийся с картиной мира, которую рисует современная физика, или с космологическими моделями эволюции нашей Вселенной, порой испытывает самый настоящий интеллектуальный шок. Ему начинает казаться, что ученые намеренно громоздят нелепость на нелепость, словно стремятся перещеголять друг друга, – настолько эта картина не вписывается в привычные представления о реальности. Невольно вспоминается известное высказывание Нильса Бора по поводу очередной заковыристой гипотезы: «Эта идея, безусловно, безумна, но весь вопрос в том, достаточно ли она безумна, чтобы быть истинной». Между тем Бор вовсе не валял дурака, а всего лишь хотел подчеркнуть тот бесспорный факт, что современная физика выходит на такие уровни постижения реальности, которые напрочь лишены наглядности и не имеют аналогий в повседневном житейском опыте.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.